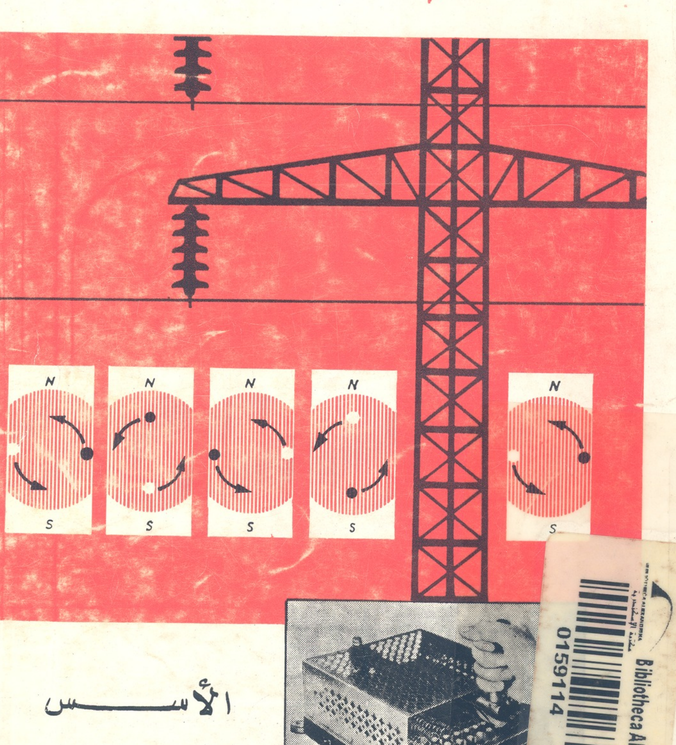
أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول



الأسس التكنولوجية

أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهره
المؤسسة الشعبية للتأليف بلايبزج

Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول

تأليف: هايتزجراف

ترجمة: المهندس إدوار يوسف قاضي

المهندس أمين قاسم سليم

Printed by AL-AHRAM, CAIRO

هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة لكتاب

ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS

من سلسلة : TECHNICAL FUNDAMENTALS

تصـــدير

هذه السلسلة – الأسس التكنولوجية – ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر فى لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام .

وقد تضافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العربى لهذه السلسلة الرفيعة التى لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا منقطع النظير . ولا عجب أن تنتقى مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها فى مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمتصفح لأى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى وقوته الكامنة الحقيقية – لذلك فإن دار النشر فى لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى فى جمهورية ألمانيا الديموقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خبرة المهندسين ورجال العلم ممن لهم نشاط واسع فى مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب – بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالأطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم فى مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد

مقـــدمة

كان التصدى للحقائق والمفاهيم والظواهر الخاصة بتكنولوجيا الكهرباء ، يعتبر من المجازفات الكبيرة فى صدد تقدم الهندسة الكهربائية خلال السنوات العشر الماضية . والمؤلف على يقين كامل بأن وضع كتاب فى أسس الهندسة الكهربائية ، يتناول فقط أهم المفاهيم الأساسية ، والجوانب الضرورية لهذا العلم سوف لا يجعله من النوع الجامع المانع .

وقد تم وضع هذا الكتاب بطريقة تجعل القارئ يلم بالقوانين الأساسية والقواعد المستخلصة من الظواهر الفيزيقية الكهربائية والظواهر الكهربائية التكنولوجية . وقد صيغت عبارات الكتاب بلغة سهلة مبسطة وأسلوب ممتع جذاب . هذا فضلا عن أنه يتيح للقارئ فرصة التعمق فى الفروع الأساسية لتكنولوجيا الكهرباء .

أما بالنسبة للصيغ الرياضية المصاحبة لشتى الموضوعات التى تناولها هذا الكتاب ، فقد روعى أن تكون من النوع المبسط نسبيا ، وذلك حتى يصبح بمقدور القارئ القليل الإلمام بالرياضة ، تفهم العلاقات المختلفة التى تعرضنا إليها فى هذا الكتاب .

وقد ارتأى الناشر تمشيا مع الهدف من إصدار سلسلة « الأسس التكنولوجية » ، أنه من النافع تماما إصدار كتاب فى أسس الهندسة الكهربائية فى جزءين ، يشتمل كل منهما على قسمين رئيسيين . يتناول الجزء الأول « أسس الفيزياء التكنولوجية » . و « تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية » . ويشتمل الجزء الثانى على « الأبواب الخاصة بهندسة القوى الكهربائية والأساليب الفنية لإعداد البيانات الكهربائية » ، وهذا التقسيم يبدو معقولا تماما ، لأنه يتمشى مع الاتجاهات الحديثة فى عرض الموضوعات الخاصة بالهندسة الكهربائية .

وقد أعد هذا الكتاب ليكون بمثابة مرجع تفصيلى للقواعد العلمية لتكنولوجيا الكهرباء ، فهو يحدد الجوانب الأساسية لفروع هذا العلم . ويتضح من ذلك أنه لا يمكن التعويل على هذا الكتاب لتدريب العاملين فى فرع معين من الهندسة الكهربائية ، بل هو موجه أساسا لخدمة القراء الذين يرغبون فى الحصول على فكرة عامة عن تكنولوجيا الكهرباء ، فضلا عن مدهم بمعلومات تتعلق بموضوعات خاصة . وسوف يعين هذا الكتاب كذلك على تفهم المسائل الأكثر تقدما فى هذا العلم بسهولة ويسر .

المحتويات

صفحة

القسم الأول : الأساسيات الفزيائية الفنية

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

القسم الثانى : تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

صفحة

القسم الأول

الأساسيات الفنية الفيزيائية

الفصل الأول

تأثيرات التيار الكهربائى

يصحب التيار الكهربائى عدة تأثيرات ملحوظة (ظواهر) ويمكن تمييزها بما يلى :

١/١ - تأثير حرارى .

٢/١ - تأثير ضوئى .

٣/١ - تأثير مغنطيسى

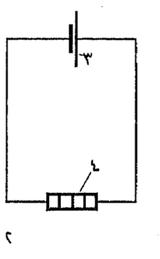
٤/١ - تأثير كيميائى .

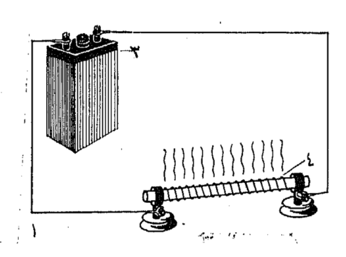
٥/١ - تأثير فسيولوجى .

ويستخدم الفزيائيون هذا التأثير الأخير لأغراض العلاج الطبى الكهربائى المتعدد الوجوه . وعند التعامل بالتيار الكهربائى ، تلاحظ تدابير أمان واشتراطات متعددة ، تراعى عند البحث عن دواء باستخدام التأثير الفسيولوجى للتيار الكهربائى .

١/١ - التأثير الحرارى للتيار الكهربائى :

يوضح الشكل (١) التأثير الحرارى للتيار الكهربائى على موصل يسرى فيه هذا التيار . يسخن التيار الكهربائى ذو الشدة الكافية هذا الموصل ، فيشع حرارة للأوساط المحيطة به . وتستخدم أسلاك تسخين من مادة مقاومة ، (وسيناقش هذا بمزيد من التفصيل فى الفصل السادس) ، إذا استخدمت الحرارة الناتجة عن التيار الكهربائى فى الأغراض الصناعية والأجهزة المنزلية وغيرها .





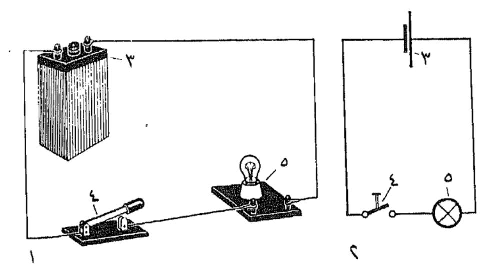
شكل ١ : التأثير الحرارى للتيار الكهربائى .

١ - تمثيل تخطيطى للتأثير الحرارى .

٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .

٣ - مصدر للجهد (تستخدم بطارية فى هذه الحالة) .

٤ - مسخن كهربائى .



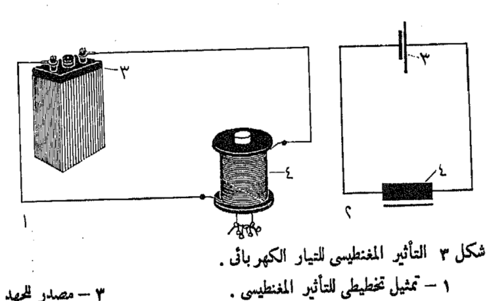
شكل ٢ : التأثير الضوئى للتيار الكهربائى .

١ – تمثيل تخطيطى للتيار الكهربائى .
٢ – رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
٣ – مصدر للجهد .
٤ – مفتاح كهربائى .
٥ – مصباح كهربائى .

٢/١ – التأثير الضوئى للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٢) التأثير الضوئى للتيار الكهربائى . ويؤدى مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية، خلال فتيل التسخين لمصباح كهربائى ، إلى تسخين هذا الفتيل لدرجة التوهج ، فيشع ضوء أبيض .

ويوضح المثال السابق هذا النوع من التأثير الضوئى للتيار الكهربائى ، الذى ينتج بواسطة المرحلة المتوسطة للتأثير الحرارى للتيار الكهربائى .



شكل ٣ التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى .

١ – تمثيل تخطيطى للتأثير المغنطيسى .
٢ – رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
٣ – مصدر للجهد .
٤ – مغنطيس الرفع الكهربائى .

وينتج تأثير ضوئى آخر فى مصابيح التفريغ (مصابيح تفريغ هوائية ، مصابيح أو أنابيب فلورية) ، وسوف يرد شرح هذا الموضوع فى الجزء الثانى بالفصل الرابع .

١/٣ – التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى :

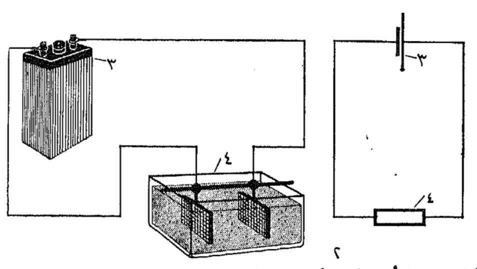
يبين الشكل (٣) التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، فينتج عن مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية ، عبر موصل ، مجال مغنطيسى حول هذا الموصل . فى الشكل (٣) يكون الموصل على هيئة ملف يتكون من عدة لفات . ولزيادة شدة التأثير المغنطيسى ، يولج قلب حديدى داخل الملف . وعلى سبيل المثال لا الحصر ، يكون مغنطيس الرفع الكهربائى ، عبارة عن تصميم لمثل هذا الملف يستخدم تجاريا .

١/٤ – التأثير الكيميائى للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٤) التأثير الكيميائى للتيار الكهربائى . فيعرض مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية عبر السائل الموصل الكهربائى (ماء مستحمض) ، إلى تغييرات جوهرية . وعلى سبيل المثال ، يمكن تحليل الماء إلى مكوناته (هيدروجين وأكسيجين) ، وذلك بإمرار التيار الكهربائى .

١/٥ – التأثيرات التنشيطية للتيار الكهربائى :

للتيار الكهربائى قدرة على التشغيل ، وتسمى هذه القدرة « الطاقة » ويطلق عليها كذلك « الطاقة الكهربائية » نسبة إلى التيار الكهربائى . ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة : طاقة حرارية أو طاقة ضوئية أو طاقة كيميائية ، علاوة على إمكان تحويلها إلى طاقة ميكانيكية .



شكل ٤ : التأثير الكيميائى للتيار الكهربائى .

١ – تمثيل تخطيطى للتأثير الكيميائى .
٢ – رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
٣ – مصدر للجهد .
٤ – حوض إلكتروليتى .

ويمكن بواسطة الطاقة الكهربائية مثلا ، إحداث عزم لى على عمود إدارة محرك كهربائى مستخدم فى إدارة مكنات التشغيل الصناعية ، ويتضح من ذلك تأثيرات التيار الكهربائى فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . وتؤدى تحويلات الطاقة دورا هاما فى جميع المجالات الهندسية والتكنولوجية . وتظهر البحوث التى تنتج عنها فى قانون بقاء الطاقة ، أنه فى مضمار تحويل الطاقة : تبقى الطاقة الإجمالية ثابتة ، فبينما تختفى الطاقة من أحد أشكالها ، تظهر فى شكل آخر : وبمعنى آخر « فإن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى » .

الفصل الثانى

ما هى الكهرباء

حاول الإنسان كثيرا أن يستكشف هذا الكون الذى يعيش فيه . ولقد بذل مجهودات كثيرة ، وسوف يستمر فى بذل هــذه المجهودات للدراسة والوصول إلى معنى الظواهر فى العالم المحيط به . وعليه ، بحث الإنسان فى طبيعة الكهرباء وأصبح يدرك تمام الإدراك مفهوم التيار الكهربائى كجوهر كهربائى ، حتى أصبح هذا المعنى معروفا وواضحا له بدرجة كبيرة . وباستخدام النماذج كطرق عملية ، أمكن معرفة كل ما يتعلق بالكهرباء ، وعلى الأخص عند تفسير الظواهر التى تنقصها المشاهدات المباشرة .

ونبدأ هنا بالحقيقة التالية : تعتمد جميع الظواهر الكهربائية على جزيئات متناهية فى الصغر تحمل أصغر كميات من الشحنات الكهربائية أو الكهرباء،ويطلق على هذه الجزيئات المتناهية فى الصغر « إلكترونات » .

ولتفسير ما هو « الإلكترون » يجب الإلمام التام بالمعرفة التى أدت إلى وضع « النظرية الذرية المتكاملة ».فمثلا ، عند تحليل أى مادة فى المعمل نحصل على مواد لا يمكن الحصول بعد ذلك على غيرها ، وتسمى « العناصر » .

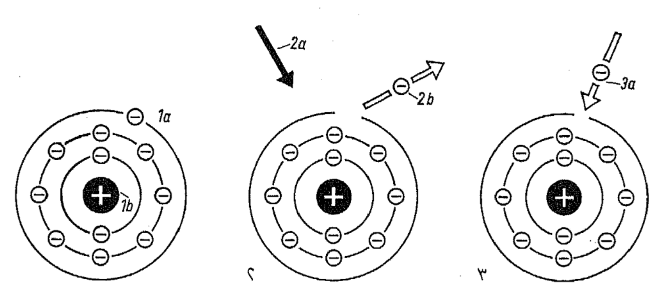
وبالمقارنة مع العدد الكبير من المواد والمركبات التى وجدت فى الطبيعة ، فإن عدد العناصر التى تم تعيينها ما زال صغيرا ، حيث أصبح حوالى المائة فقط .

ويتكون كل عنصر من عدة جزيئات من نفس النوع ، يطلق عليها « ذرات » . ويسمى أصغر جزء من العنصر له نفس خواص العنصر ، (مثـــل الرائحـة والقوة والموصلية الكهربائية والموصلية الحرارية) « الذرة » . وعلى هذا فإن أصغر جزء من قطعة من عنصر النحاس هى « ذرة النحاس » . وكان يقصد بالذرة سابقا ، الشئ غير القابل للانقسام . هذه فكرة قديمة حيث كان يعتقد من قبل أن الذرة لا يمكن تقسيمها (لا انشطارية) . غير أنه أمكن شطر الذرة ، وقد بنى إنتاج الطاقة النووية على شطر هذه الذرات .

ويبين الشكل (٥ — ١) نموذجا لذرة . ويساعد هذا النموذج الأساسى فى تفسير ظواهر طبيعية كثيرة : الكهربائية منها ، وغير الكهربائية .

وتتكون الذرة من « نواة ذرية » وإلكترون أو أكثر ، يدور حول النواة فى ممرات يطلق عليها « مدارات » . وهذا يعنى أن الإلكترونات تدور على مسافات معينة من هذه النواة .

وتشبه الذرة فى تكوينها المجموعة الشمسية . ويمكن اعتبار النواة الذرية كأنها الشمس ، والإلكترونات التى تدور حول النواة كأنها الكواكب السيارة فى المجموعة الشمسية . وبنفس الطريقة ، فكما توجد قوى بين الكواكب والشمس تجعل المجموعة الشمسية فى حالة استقرار ، توجد كذلك قوى بين النواة الذرية والإلكترونات ، تجعل الذرة فى حالة استقرار .



شكل ٥ : ذرة متعادلة ، انفصال الشحنات وتوازنها .

١ – ذرة صوديوم متعادلة .
a – إلكترون بشحنة سالبة .
b – نواة ذرية بشحنة موجبة .
٢ – انفصال الشحنات .
a – التأثير على الذرة .
b – إزاحة الإلكترون عن المدار الخارجى .
٣ – توازن الشحنات .
a – إلكترون فى نطاق قوى التجاذب الكهربائية .

تظهر الذرة كأنها فى حالة تعادل إذا لم تتعرض لمؤثر خارجى بأى وسيلة ، بمعنى أن أصغر كميات من الشحنات الكهربائية التى تحملها الإلكترونات المحيطة بالنواة ، تعادل فى مجموعها الشحنة المضادة التى تحملها النواة الذرية . وتوجد بين هذه الشحنات الكهربائية ذات الخاصية المضادة ، قوى تجاذب تجعل الذرة فى حالة تعادل . وللتمييز بين هذين النوعين من الشحنات الكهربائية أو كميات الكهرباء ، تعلم الشحنات التى تحملها الإلكترونات بالعلامة السالبة (–) ، وبمعنى آخر يطلق على الإلكترونات أنها سالبة كهربائيا . وتعلم شحنات النواة الذرية بالعلامة الموجبة (+) ، وبمعنى آخر يطلق على النواة الذرية أنها موجبة كهربائيا .

إذا تعرضت ذرة (أو عدة ذرات) لمؤثرات خارجية (لفعل ميكانيكى أو كيميائى ، مثلا) ، فإن شرط التعادل فى الذرة يتغير ، وكنتيجة لذلك ، تتحرك الإلكترونات ذات الشحنة السالبة . وإذا مرت هذه الإلكترونات عبر نظام مناسب ، يمكن ملاحظة تأثيرات التيار الكهربائى السابق وضعها .

ويطلق على الفعل الواقع على ذرة بالمفهوم المبين أعلاه « انفصال الشحنة » .ويحدث انفصال الشحنة هذا فى مصدر كهربائى (مركم – دينامو – مولد) .

ويحدث خلل فى توازن قوى التجاذب الكهربائية فى الذرة أثناء انفصال الشحنات . ويطلق على العملية العكسية لانفصال الشحنات « توازن الشحنات » .

وعندما يقترب أن إلكترون بشكل كاف من ذرة فى حالة تخلخل نتيجة لانفصال الشحنة، تحدث قوى التجاذب الكهربائية تأثيرا يجعل هذا الإلكترون يتحرك فى مدار معين حول النواة ، حتى تبدو الذرة كأنها فى حالة توازن . ويبين الشكل (٥) توضيحا لهذه التفسيرات بواسطة نموذج لذرة فلز الصوديوم .

الفصل الثالث

الشحنات الكهربائية

١/٣ – الشحنات الكهربائية الثابتة :

يميز عادة بين الشحنات الكهربائية الثابتة والشحنات الكهربائية المتحركة . والشحنات الكهربائية الثابتة وظواهرها ، هي موضوع دراسة الكهرباء الأستاتيكية . وقد أصبح اليوم هذا الفرع من الدراسة أقل أهمية من ذلك الخاص بدراسة الشحنات المتحركة . وعلى كل ، فإن مناقشة الظواهر الأساسية للكهرباء الأستاتيكية ، إلى جانب بضع ملاحظات تتعلق بتاريخ هذا الفرع من الدراسة ، سيساعد على تفهم جوهر الهندسة الكهربائية .

(ا) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية :

لاحظ تيلز (Thales) ، الفيلسوف وعالم الرياضيات اليونانى ، منذ حوالى ٢٥٠٠ عام أنه عند دلك قطعة من الكهرمان بقطعة من الصوف ، نجد أن قطعة الكهرمان تجذب قطع الورق الصغيرة ، وذلك يعنى أن الكهرمان الذى أطلق عليه اليونان اسم الكهرب (elektron) يمكن شحنه كهربائياً . ومع ذلك فقد مضى على هذه الظاهرة حوالى ٢٠٠٠ عام دون أن تلقى أى اهتمام . ومن حوالى ١٦٠٠ عام أجرى عالم الطبيعيات الإنجليزى جلبرت (Gilbert) أبحاثاً فى الظواهر الأساسية للقوى الكهربائية التى يطلق عليها باللاتينية (Vis electrica) . وقد حاول جلبرت ضمن أعماله الأخرى البحث عن المواد التى يمكن شحنها كهربائياً ، حتى توصل إلى النتيجة التالية : « يعتبر الزجاج وشمع الختم والكبريت من المواد القابلة للتكهرب ، على حين تعتبر المعادن غير قابلة للتكهرب » .

وبعد ذلك بحوالى ١٢٥ عام أثبت جراى (Gray) ، زميل جلبرت فى الموطن ، أن ما ذكره جلبرت عن عدم قابلية المعادن للتكهرب غير صحيح .

وفى ألمانيا بمدينة جوريك عاصمة مجد برج ابتكر أوتو (Otto) جهازاً استاتيكياً كهربائياً استخدم فيه كرة من الكبريت تدلك باليد .

وقد تم التعرف على أول نص يقارن بين الإضاءة والشرارة الكهربائية ، كتبه وال (Wall) فى عام ١٧٠٨ . وفى منتصف القرن الثامن عشر تقريباً شرح العالم الفرنسى دوفى (Dufay) التصرف المختلف للمواد المتباينة بالنسبة لشحناتها الكهربائية . واستخدم بعد ذلك المصطلحان موجب (+) وسالب (–) كهربائياً . وأجريت تجارب فيزيقية كهربائية فى مدينة ليدن (Lyden)

بهولندا ، نتج عنها اختراع المواسع (المكثف الكهربائى) . وكان أول مواسع نتيجة لتطوير زجاجة دواء ، وسمى « زجاجة ليدن » .

ويقال ان بنيامين فرانكلين الأمريكى بنى أول مانعة صواعق فى عام ١٧٥٢ .

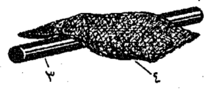
وكانت أعمال كولوم (Coulomb) رائدة فى مجال الشحنات الكهربائية . ولقد بدأ اختباراته فى حوالى عام ١٧٨٥ باستخدام ميزان التواء ، يعرف أيضاً باسم « ميزان كولوم » . وبعد نجاح كولوم فى قياس القوى المصاحبة للشحنات الكهربائية ، أعلن عن قانونه الخاص بإنتشار الشحنات الكهربائية .

وبعد ذلك ، أجرى فارادای (Faraday) العالم الشهير ، أبحاثاً لمعرفة كيفية توزيع الشحنات الكهربائية على الأجسام .

(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية :

التمثيل باستخدام قضيب من الزجاج وقضيب المطاط الصلد :

عند دلك قضيب من الزجاج بقطعة من الجلد ، أو قضيب من المطاط الصلد بخرقة من الصوف ، كما فى الشكل (٦) فإن هذين القضيبين يجذبان قصاصات الورق الصغيرة كما فى الشكل (٧) .



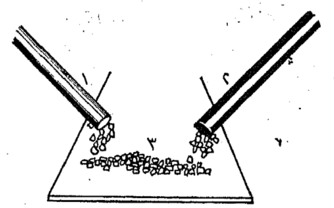


شكل ٦ : قضيب من الزجاج وآخر من المطاط الصلد معدان لانفصال الشحنة .

١ — قضيب من الزجاج .
٢ — قطعة من الزجاج .
٣ — قضيب من المطاط الصلد .
٤ — خرقة من صوف .

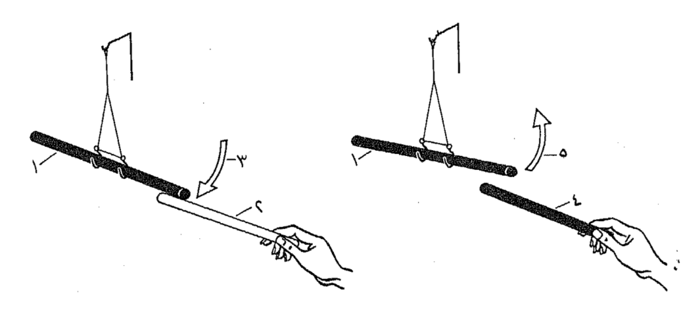
يتضح أن الفعل الميكانيكى (الدلك) قد سبب انعدام التعادل الكهربائى ، وكما هو واضح أيضاً فقد حدثت قوى تجاذب لقصاصات الورق .

وقد أطلق قديماً على ظاهرة الشحنات الكهربائية الناتجه بهذه الطريقة مصطلح « كهربائية الإحتكاك » ، واليوم أصبح معروفاً أن التلامس الجيد لقضيب من الزجاج مع الجلد يكفى للحصول على فعل القوة الكهربائية ، كما هو مبين فى الشكل (٧) . وعلى ذلك تكون التسمية « كهربائية التلامس » . أكثر دقة من تسمية « كهربائية الدلك » .



شكل ٧ : القوى الناتجة عن دلك قضيبين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلد .

١ — قضيب زجاج .
٢ — قضيب مطاط صلد .
٣ — قطع صغيرة من الورق .



شكل ٨ : يوضح الشكل تصرف قضيبين مدلوكين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلد تجاه كل منهما للآخر .

١ – قضيب من المطاط الصلد معلق حر الحركة .
٢ – قضيب زجاج .
٣ – تجاذب (قوة – فعل) .
٤ – قضيب مطاط صلد .
٥ – تنافر (قوة – فعل) .

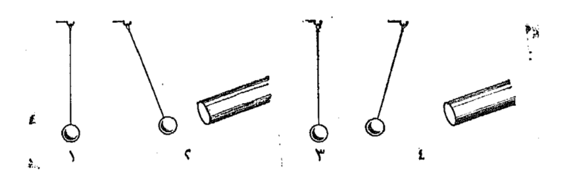
بعد أن وصفنا فعل قضبان الزجاج والمطاط الصلد المدلوكة على قصاصات الورق ، نبين هنا فعل كل منهما على الآخر . ويبين الشكل (٨) ترتيبة لقضيب من المطاط الصلد المدلوك ، معلق بحيث يكون حر الدوران . وإذا دلك قضيب من الزجاج وقرب من قضيب المطاط ، نجد أن الأخير يدور تجاه قضيب الزجاج ، وهذا يعنى أنه انجذب له . وعند تقريب قضيب آخر من المطاط الصلد المدلوك إلى قضيب المطاط المعلق ، نجد أن القضيب المعلق يدور بعيداً عن القضيب الآخر، وهذا يعنى أنه تنافر بعيداً عنه .

ونستخلص من مناقشاتنا السابقة لكهربائية التلامس وجود نوعين من الشحنات لهما تأثيران ديناميكيان ، أحدهما تجاذبى والآخر تنافرى . وبالتالى أمكن الوصول إلى الآتى : « يحمل قضيب الزجاج المدلوك شحنات موجبة (+) ، بينما يحمل القضيب المدلوك من المطاط الصلد شحنات سالبة (–) » وبهذا التصنيف أمكن صياغة قانون أستاتيكى كهربائى لفعل القوة كما يلى :

تتجاذب الأجسام التى تحمل شحنات كهربائية معكوسة الإشارة ، بينما تتنافر الأجسام التى تحمل شحنات كهربائية لها نفس الإشارة .

تمثيل التأثيرات الديناميكية (أفعال القوة) ، الشحنات وتعادل الشحنة :

ستفسر هنا التأثيرات الديناميكية لكهربائية التلامس بالإستعانة بالرسومات التوضيحية التالية ، والمبينة على نماذج تستخدم لتفهم جوهر الكهرباء . ويبين الشكل (٩) كرة من نخاع البلسان (نوع من النبات) ، معلقة بحيث تكون حرة الحركة . ويقرب من الكرة قضيب مدلوك من الزجاج ، وكما هو متوقع من الوصف السابق ، نجد أن الكرة تتحرك فى اتجاه قضيب الزجاج .



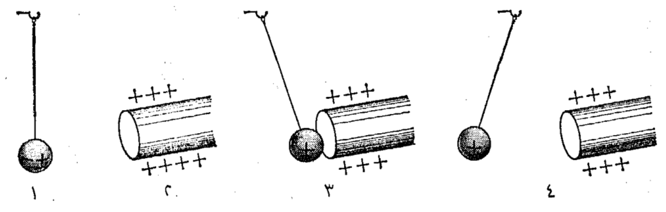
شكل ٩ : يبين الشكل تصرف قضيب مدلوكمن الزجاج وكرة من نخاع البلسان تجاه كل منهما الآخر .

١ — كرة من نخاع البلسان معلقة حرة الحركة .
٢ — التجاذب لقضيب الزجاج .
٣ — الرجوع إلى الوضع الأصلى .
٤ — عند تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية ، تتنافر الكرة معه .

وعند إبعاد قضيب الزجاج عن كرة نخاع البلسان ، نجد أن الأخيرة تعود إلى وضعها الأصلى بمجرد إبعاد القضيب عنها بمسافة معينة . وباعادة تقريب القضيب الزجاج مرة ثانية إلى الكرة ، تبتعد عنه ، ويعنى هذا حدوث قوى تنافرية .

وتفسر هذه الظاهرة بمساعدة الشحنات المختلفة كما هو مبين بالشكل (١٠) .

عند تقريب قضيب مدلوك من المطاط الصلد لكرة من نخاع البلسان تحمل شحنة موجبة كهربائياً، نلاحظ حدوث الظاهرة الموضحة فى الشكل (١١) .



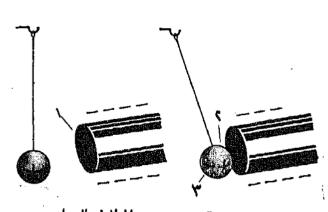
شكل ١٠ : شرح الظاهرة الموضحة فى الشكل (٩) .

١ — كرة من نخاع البلسان متعادلة كهربائيا (الشحنات الموجبة والشحنات السالبة متساوية) .

٢ — قضيب زجاج يحمل شحنة موجبة .

٣ — عند التجاذب ، يحدث تعادل للشحنة (تحمل كرة البلسان شحنة موجبة ، بينما تنخفض الشحنة الموجبة التى يحملها قضيب الزجاج) .

٤ — عند إعادة تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية تتنافر كرة البلسان طبقا لقانون فعل القوة المغنطيسية .



شكل ١١ : يبين الشكل مسلك كرة من نخاع البلسان تحمل شحنة موجبة وقضيب مدلوك من المطاط الصلد ، كل منهما تجاه الآخر .

١ — يقرب قضيب من المطاط الصلد يحمل شحنة سالبة إلى كرة من نخاع البلسان تحمل شحنة كهربائية موجبة .

٢ — يحدث تعادل للشحنة أثناء تجاذب كرة البلسان وقضيب المطاط .

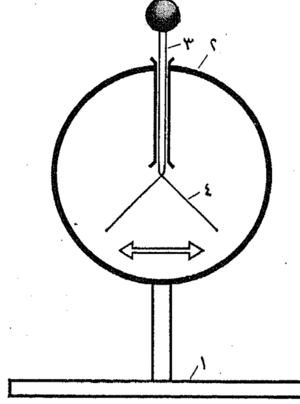
٣ — تصبح كرة نخاع البلسان متعادلة كهربائيا .

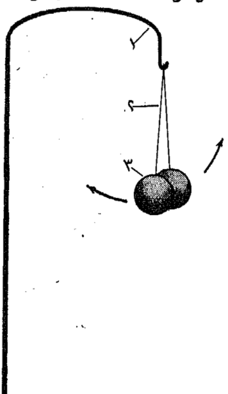
(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها :

سنشرح، هنا أهم الأجهزة المستخدمة فى أغراض الكهرباء الأستاتيكية ، وذلك قبل مناقشة عدة خصائص للشحنة الكهربائية .

البندول الكهربائى :

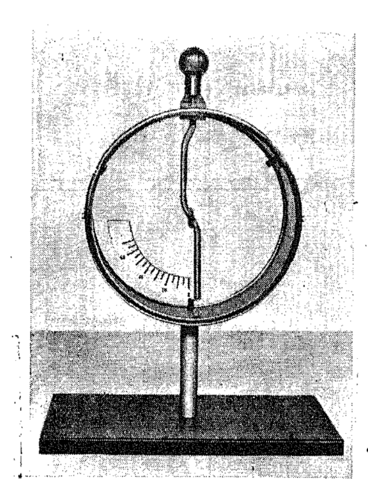
يتكون من كرة من نخاع البلسان معلقة بخيط مثبت فى حامل من مادة عازلة ، أى من مادة





شكل ١٢ : البندول الكهربائى :
١ — حامل .
٢ — خيط .
٣ — كرة من نخاع البلسان .

شكل ١٣ : مكشاف وولف الكهربائى :
١ — حامل .
٢ — اسطوانة معدنية .
٣ — أنبوبة عازلة وقضيب معدنى .
٤ — مؤشر .



شكل ١٤ :
جهاز براون لقياس فرق الجهد الكهربائى .

غير حساسة للشحنات الكهربائية . فى الشكل (١٢) ، تتأرجح كرة البلسان بفعل الشحنات الكهربائية .

مكشاف وولف الكهربائى : (إليكتروسكوب وولف) :

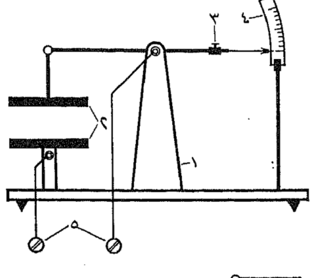
يتكون المكشاف من أسطوانة معدنية مركبة على حامل معزول ، ويثبت داخل الأسطوانة قضيب معدنى ، بطريقة بحيث يكون معزولا عنها . وتتشكل نهاية القضيب على هيئة مؤشرين من رقائق الألومنيوم أو ورق الذهب ، كما فى الشكل (١٣) ، ويبتعد المؤشران عن بعضهما البعض أثناء شحن الكشاف كهربائياً ، نتيجة للتنافر المتبادل بينهما .

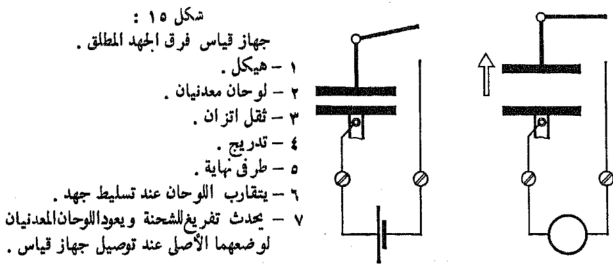
جهاز براون لقياس فرق الجهد :

هذا الجهاز تصميم محسن للمكشاف الكهربائى ، وبه مؤشر واحد بدلامن المؤشرين ، ويرتكز هذا المؤشر على محور ارتكاز بحيث يكون حر الدوران حوله ، كما فى الشكل (١٤) . وينحرف المؤشر أثناء شحن المكشاف كهربائياً . ويبين وضعه على تدريج قيمة جهد معين (فعل القوة الكهربائية) . ويستخدم هذا الجهاز فى بيان الجهود ذات القيم العالية .

جهاز قياس فرق الجهد المطلق :

يتكون هذا الجهاز من لوحين من المعدن موضوعين بعكس بعضهما البعض ، على مسافة معينة . يثبت أحد اللوحين فى هيكل الجهاز تثبيتاً محكماً بينما يترك الآخر بحيث يكون حر الحركة . ولرافعة الجهاز التى تحمل اللوح المتحرك نهاية على شكل مؤشر موضوع على تدريج . يتعرض





شكل ١٥ :
جهاز قياس فرق الجهد المطلق .
١ – هيكل .
٢ – لوحان معدنيان .
٣ – ثقل اتزان .
٤ – تدريج .
٥ – طرف نهاية .
٦ – يتقارب اللوحان عند تسليط جهد .
٧ – يحدث تفريغ للشحنة ويعود اللوحان المعدنيان لوضعهما الأصلى عند توصيل جهاز قياس .

اللوحان لتجاذب متبادل عند تسليط شحنة كهربائية على طرف الجهاز (بتوصيل بطارية مثلا ، بطرفى الجهاز) . فإذا وصل بعد ذلك فلطمتر مناسب لهذا الغرض بالجهاز ، يحدث توازن للشحنات ويعود اللوحان المعدنيان إلى وضعهما الأصلى ، الشكل (١٥) . وتناسب مثل هذه الأجهزة المطلقة بصفة خاصة القياسات الدقيقة (قياسات المقارنة وأعمال المعايرة) .

(د) خواص الشحنات الكهربائية :

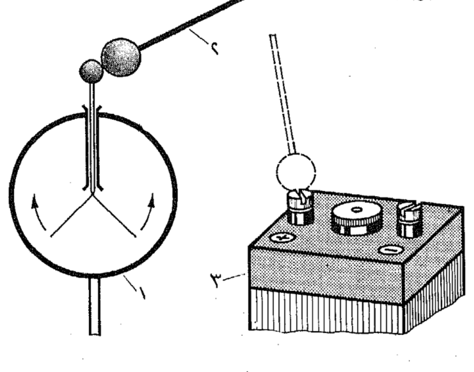
المنقولية والتجزئية :

يوضح الشكل (١٠) والشكل (١١) حقيقة قابلية الشحنات الكهربائية للانتقال (المنقولية) ، ولها خاصية أخرى وهى قابليتها للتجزئة (التجزئية) . ويوضح الشكل (١٦) ترتيبة تساعد على إعطاء البرهان الكافى لإثبات التجزئية للشحنات الكهربائية . فيوصل مستوى اختبار كهربائى ، مكون من مقبض معزول فى نهايته كرة معدنية ، وذلك بالقطب الموجب لبطارية . ثم يوصل بعد ذلك بمكشاف كهربائى (إليكتروسكوب) . ونتيجة لذلك تنفرج رقيقتى الكشاف معطية انحرافاً ملحوظاً . ويزداد هذا الانحراف بتكرار هذه العملية .

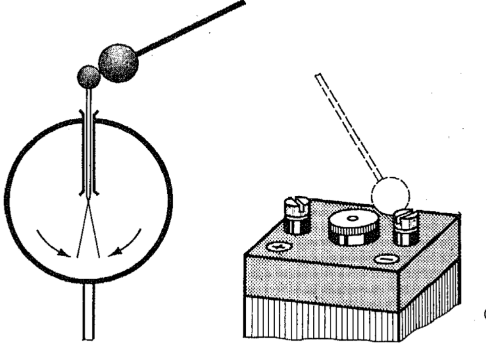
ويمكن إجراء عكس هذه العملية بعد ذلك . فعندما ننقل الشحنة الكهربائية بواسطة مستوى الاختبار الكهربائى من المكشاف إلى القطب السالب للبطارية ، نلاحظ تضاؤل انحراف رقيقتى المكشاف شيئاً فشيئاً حتى تتلاشى الشحنة منه (الشكل ١٧) .

التلاصق السطحى :

لقد أجريت عدة أبحاث لمعرفة كيفية اختراق الشحنات الكهربائية للأجسام ، وهل يحدث هذا الاختراق كلياً أو جزئياً . وتم التوصل الى النتيجة التالية : تستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المواد الموصلة كهربائياً » .



شكل ١٦ : تجزئية الشحنات الكهربائية :
١ – مكشاف كهربائى .
١ – مستوى اختبار كهربائى .
٣ – بطارية .

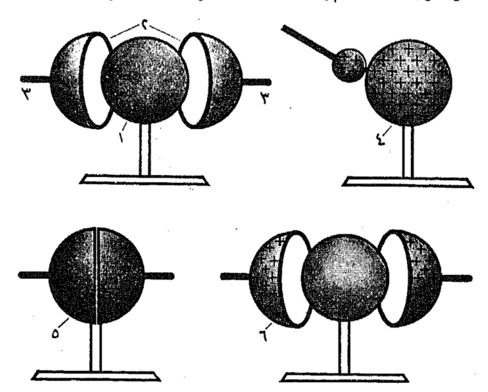


شكل ١٧ : أسباب تجزئية الشحنات الكهربائية عند تفريغ المكشاف .

ويمكن إثبات هذه الظاهرة بمساعدة الترتيبة الموضحة فى الشكل (١٨) . وتتكون هذه الترتيبة من كرة مجوفة ونصفى كرة مجوفين من المعدن ، ولكل من الأخيرين مقبض معزول . ويمكن لنصفى الكرة أن ينطبقا تمام الانطباق كل على النصف المناظر له من الكرة الكاملة . وتشحن هذه الكرة بمساعدة مستوى اختبار كهربائى من بطارية ، ثم يطبق نصف الكرة على الكرة

المشحونة تطبيقاً تاماً ، ثم يحركان بعيداً عنهـا . وتبعاً لذلك تظهر شحنة كهربائية على نصفى الكرة ، بينما تصبح الكرة الكاملة متعادلة كهربائياً .

و تستخدم ظاهرة استقرار الشحنة الكهربائية على أسطح الأجسام فى الأغراض الهندسية ، فمثلا ، فى صناعة موانع الصواعق ، وفى حجب الأسلاك والمركبات المستخدمة فى هندسة التردد العالى ، وفى دلائل الموجة المعدنية المجوفة المستخدمة فى نقل الطاقة الكهربائية العالية .

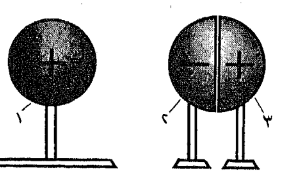
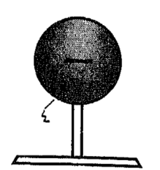


شكل ١٨ : التصاق الشحنات الكهربائية بالسطح :

١ — كرة معدنية .
٢ — نصف كرة .
٣ — مقبض معزول .
٤ — كرة معدنية عليها شحنة موجبة .
٥ — نصفا كرة منطبقان على كرة مشحونة .
٦ — شحنات موجبة على سطح نصفى الكرة بعد إبعادهما .

الشحن بالتأثير :

يبين الشكل (١٩) إمكانية منح أى جسم مكهرب جسما آخر شحنات كهربائية ، دون أى تلامس مباشر بينهما . ويوضع نصفا كرة بحيث يتلامس وجهاهما تماماً ، وذلك بين كرتين معدنيتين (من نفس النوع كما هو موضح بالشكل ١٨) . ويتم شحن الكرتين المعدنيتين كل منهما بشحنة كهربائية عكس الأخرى (إحداهما موجبة والأخرى سالبة) . يختبر نصفا الكرة قبل وضعهما فى مكانهما ، للتأكد من أنهما غير مشحونين ، ويتم ذلك بواسطة مكشاف كهربائى . وبترك نصفى الكرة بين الكرتين المشحونتين فترة وجيزة نجد أنهما أصبحا يحملان شحنة كهربائية . وهذا يعنى أنهما قد شحنا بالتأثير .

شكل ١٩ : الشحن بالتأثير :

١ — كرة معدنية عليها شحنة موجبة . ٣ — نصف كرة عليه شحنة موجبة .
٢ — نصف كرة عليه شحنة سالبة . ٤ — كرة معدنية عليها شحنة سالبة .

يلاحظ أن توزيع الشحنات على نصفى الكرة يتم فى نفس الوقت . ويحمل نصف الكرة المواجه الكرة الموجبة شحنة سالبة ، بينما يحمل النصف الآخر المقابل لتلك السالبة شحنة موجبة . ونستنتج من هذه الظاهرة ما يلى :

أولا : حيث أنه ليس هناك تلامس مباشر بين أجسام الاختبار ، فإن الحث ينتج خلال الوسط المحيط بها (وهو الهواء فى هذه الحالة) .

ثانياً : أنه ليس من الضرورى أن تكون الأجسام التى لا تشحن لا تحمل الكهرباء ، كما يتضح ذلك من فصل الشحنات على نصفى الكرة . ويجب ملاحظة أن الشحن بالتأثير للأجسام يحدث أيضاً فى أوساط أخرى مثل الفراغ والزيت .

تكون الشحنات الكهربائية على المعادن قابلة للانتقال والتجزئية ، وتستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المعادن . ويحدث انفصال الشحنات بتقريب جسم مشحون من آخر غير مشحون ، ويكون الأخير متعادلا كهربائياً من قبل ذلك .

٢/٣ — الشحنات الكهربائية المتحركة :

(ا) التيار الكهربائى :

يطلق على الأجهزة والمكنات التى يتم فيها انفصال الشحنة « مصادر الجهد » ، ومن أمثلتها : المراكم والبطاريات السائلة والأعمدة الابتدائية التى تستخدم فى مشعل الجيب ، وكذلك المولدات المستخدمة فى محطات توليد القوى . وسوف يتم فيما بعد شرح الطريقة التى يتم بها انفصال الشحنات فى مصادر الجهد . وفى هذا المجال يشار إلى الحقيقة أن الشحنات الكهربائية المنفصلة تظهر عند أطراف مصادر الجهد العاملة .

يكون الطرف الموجب لمصدر الجهد للشحنة الموجبة هو المكان الذى يوجد به « نقص فى الالكترونات » ، بينما يكون الطرف السالب لنفس المصدر للشحنة السالبة هو المكان الذى به « زيادة فى الالكترونات » .

وعندما يكون طرفا مركم فى وسط كالهواء ، مثلا ، فإن تعادل الشحنات يستغرق زمنا طويلا جدا (قد يبلغ عدة سنوات) . أما إذا كان الوسط الموصل بين هذين الطرفين معدنيا كالنحاس مثلا ، تحدث الظاهرة التالية : تتحرك الشحنات السالبة (الالكترونات) خلال هذا المعدن

فى اتجاه الطرف الموجب لمصدر الجهد . وفى هذه الحالة تظهر شحنات كهربائية متحركة يطلق عليها « سريان التيار الكهربائى » .

وتسمى الأوساط التى يسرى بها ، أو يمر خلالها تيار كهربائى ، حيث تكون هناك شحنات كهربائية متحركة « الموصلات الكهربائية » بينما تسمى الأوساط الأخرى « غير الموصلات » .

ويعتبر التوصيل أو سريان التيار خلال المعادن ، نوعا من أنواع سريان التيار . وهناك أنواع أخرى لسريان التيار الكهربائى خلال السوائل الموصلة (الكترو ليت) ، وخلال الغازات والفراغ المخلخل بالغازات ، وكذلك خلال المواد شبه الموصلة . وهذه الأخيرة تكون مجموعة من المواد ، يمكن إدرجها بين الموصلات وغير الموصلات ، مع أخذ تصرفها تجاه الكهرباء فى الاعتبار . وسنناقش بالتفصيل فيما بعد الأنواع المتعدده لتوصيل التيار الكهربائى .

(ب) آلية توصيل التيار الكهربائى فى المعادن :

التركيب الذرى للموصلات المعدنية :

جميع المعادن صلبة ما عدا الزئبق . وتتكون المعادن النقية من ذرات تشكل ترتيبة منتظمة تسمى « التشكيل البلورى للمعادن » كما فى الشكل (٢٠) .

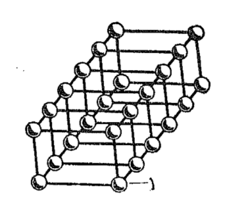
وتنفصل الالكترونات عن ذراتها فى هذا الترتيب البلورى للذرات ، ويطلق على الأجزاء الذرية المتبقية « أيونات » . وترتبط هذه الأيونات مع بعضها البعض بتأثير قواها الكهربائية الاستاتيكية محتفظة بأوضاعها بالنسبة لبعضهما البعض . وتتحرك الالكترونات الشاردة خلال المركب المتأين . وإذا لم يتعرض المعدن لأى مؤثر كهربائى ، لا يكون لحركة الالكترونات الحرة أى اتجاه مفضل ، وعلى هذا يكون المعدن متعادلا لا كهربائيا .

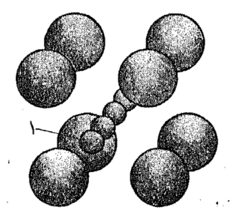
حركة الإلكترونات الحرة كتوصيل للتيار :

يبين الشكل (٢١) نموذجا من موصل كهربائى به الكترونات حرة يطلق عليها أيضا الكترونات توصيلية . ويعطى الشكل (٢٢) زيادة فى الايضاح للنموذج السابق ، مع الأخذ فى الاعتبار أن الالكترونات الحرة يمكنها أن تتحرك فى الفراغ ، ويمثل هذا الشكل نموذجا لأنبوبة والالكترونات بداخلها كأنها كرات . ويبين الشكل (٢٣) منظرا لقطاع للتمثيل المبسط لهذا النموذج .

يفسر تعادل الشحنات فى حالة توصيل طرفى مصدر الجهد بموصل معدنى على الوجه التالى : يخترق أحد الالكترونات الحرة الموصل المعدنى من الجهة التى بها زيادة فى الالكترونات ، ويخبط الكترونا آخر مسببا دفعه مسافة بسيطة فى الاتجاه الذى به نقص فى الالكترونات . ويخبط هذا بالتالى الكترونا ثانيا مسببا دفعه فى نفس الاتجاه ، حيث يخبط بدوره الكترونا ثالثا ، ويخبط الالكترون الثالث الكترونا رابعا ، وهكذا تتوالى هذه العملية .

ونتيجة لذلك تتحرك الالكترونات الحرة فى الموصل المعدنى فى اتجاه مفصل نحو المكان الذى به نقص فى الالكترونات ، حتى يحدث التعادل بين الشحنات .





شكل ٢٠ : تمثيل تخطيطى للتركيب البلورى : ١ – جزئ أولى .

شكل ٢١ : نموذج لموصل معدنى به إلكترونات حرة : ١ – إلكترونات حرة .

شكل ٢٢ : نموذج مبسط للالكترونات الحرة .



شكل ٢٣ : منظر قطاع للنموذج المبين فى شكل ٢٢

سرعة الانتشار و سرعة الإنسياق :

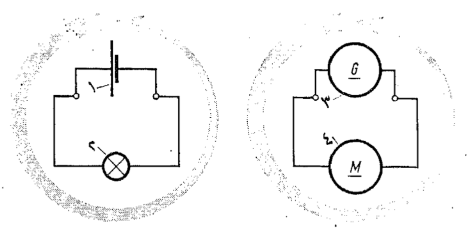
عندما نوقد مثلا ، مشعل جيب ، تمضى برهة قصيرة من الزمن حتى يشتعل المشعل . وهذا يبين أن الكهرباء تنتشر بسرعة قدرها ٣٠٠٠٠٠كم/ثانية . ويجب ألا يكون هناك خلط بين سرعة انتشار الكهرباء وسرعة انسياق الالكترونات . ويمكن استنتاج هذه الحقيقة من الشكل(٢٣) ويحدث انتشار الدفع بسرعة عالية ، وهذا يعنى أن الفترة التى يتلقى خلالها أول وآخر الكترون دفعة سوف تكون قصيرة جدا ، بينما يكون الزمن اللازم لكى يحل الكترون محل آخر ، حتى يصل إلى المكان الذى به نقص فى الالكترونات أطول نوعا ما . وقد وجد أن سرعة انسياق الالكترونات تكون حوالى مم/ثانية .

تسمى الشحنات الكهربائية المتحركة « التيار الكهربائى » . وتوصيل التيار فى الموصلات المعدنية هو توصيل للالكترونات ، أى تتحرك الالكترونات من المكان الذى به زيادة فى الالكترونات إلى المكان الذى به نقص فى الالكترونات . ويميز بين سرعة الانتشار للكهرباء وسرعة الانسياق للالكترونات .

(ج) دائرة التيار الكهربائى :

يكون أى نظام كهربائى من مصدر للجهد ، وسلك منه إلى جهاز يعمل بالكهرباء ، وسلك آخر منه رجوعا إلى المصدر « دائرة تيار كهربائية » أو بالاختصار « دائرة كهربائية » .

وتبين الأشكال من (١) إلى (٤) مثل هذه الدوائر . وفى الحياة العملية تدخل عادة نبائط تشغيل فى الدائرة الكهربائية (كما فى الشكل (٢) على سبيل المثال) وذلك لفتح وقفل الدائرة بالطريقة المطلوبة .

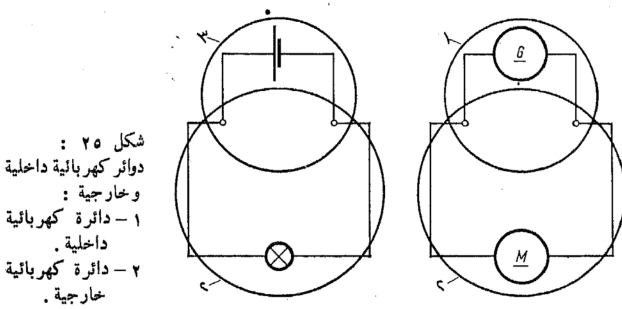


شكل ٢٤ : مقارنة بين دائرتين .

١ – بطارية كمصدر للجهد (بطارية) .
٢ – مصباح كهربائى .
٣ – مولد كهربائى كمصدر للجهد .
٤ – محرك كهربائى .

الدوائر الكهربائية الداخلية والخارجية :

يبين الشكل (٢٤) دائرتين كهربائيتين ، وبالرغم من اشتمالهما على عناصر أو مركبات مختلفة (مصادر الجهد : مركم ومولد ، مستخدمات كهربائية : مصباح متوهج ومحرك كهربائى) ، فإنه يعبر عن كل منهما برمز واحد . وتميز الدوائر : بدوائر داخلية وأخرى خارجية . ويجرى مثل هذا التمييز لعدة أسباب منها ما يلى : عندما نأخذ فى الاعتبار دائرة كهربائية من زاوية سريان الالكترونات ، نجد أن الالكترونات تسرى خلال الدائرة الخارجية من

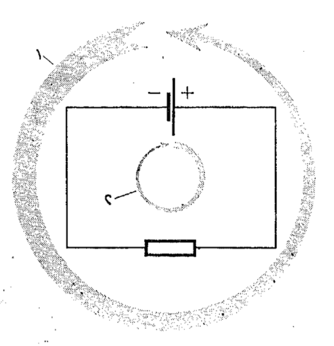


شكل ٢٥ :
دوائر كهربائية داخلية وخارجية :
١ – دائرة كهربائية داخلية .
٢ – دائرة كهربائية خارجية .

الطرف المشحون بالسالب لمصدر الجهد خلال الموصل والجهاز إلى الطرف المشحون بالموجب للمصدر ، وتسرى الالكترونات فى الدائرة الداخلية فى اتجاه عكس ذلك (الشكل ٢٥) .

تعاريف موجزة لمصطلحات أساسية :

تتكون الدائرة من عدة عناصر . وتكون جميع عناصر الدائرة موصلات كهربائية . ويسرى التيار الكهربائى فقط فى الدائرة الكهربائية المقفلة .



شكل ٢٦ :

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائى :

١ — اتجاه سريان الإلكترونات (نتيجة علمية) .

٢ — اتجاه سريان التيار الكهربائى (اتفاق) .

تستخدم مصادر الجهد فى توليد الطاقة الكهربائية ، ويمكن أن نستنتج مما سبق (بالفصل الأول) أن مصطلح « توليد الطاقة » ليس تعبيرا دقيقا ، لأن ما يحدث فعلا هو تحويل للطاقة . وتستخدم الأسلاك أو الخطوط كممرات للتيار الكهربائى ، من مصدر الجهد إلى الجهاز الكهربائى ثم الرجوع إلى المصدر .

وتحول الأجهزة التى تعمل بالكهرباء الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى منها ، ويطلق على هذه الأجهزة عادة « محولات الطاقة » (حيث لا يتمشى المصطلح « حمل » المستخدم ، فى كثير من الأحيان مع وجهات النظر الحديثة) .

وتستخدم نبائط التشغيل أو مجموعة مفاتيح التشغيل فى توصيل أو قطع أو فصل التيار الكهربائى

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائى :

ذكرنا فيما سبق أن اتجاه سريان الالكترونات فى دائرة كهربائية خارجية يكون من المكان الذى به زيادة فى الالكترونات ، أى الطرف المشحون بالسالب أو القطب السالب

لمصدر الجهد إلى القطب الموجب لهذا المصدر . وقبل استنتاج هذه الحقيقة ، كان للمصطلحات أهمية كبرى بالنسبة للهندسة الكهربائية ، كما تقبل الفنيون الكهربائيون واستعملوا بارتياح تعاريف المصطلحات كوسيلة للتفاهم فيما بينهم . وقداتفق اختياريا فى هذا الخصوص على ما يلى : يكون اتجاه التيار الكهربائى من القطب الموجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد . ويضاد ذلك السريان الفعلى للالكترونات . ويبين الشكل (٢٦) هذين الاتجاهين .

ويمكن تفسير عدة ظواهر كهربائية على أساس تيارات الالكترونات والايونات ، وسيبين ذلك عند ورود أى من هذه التفسيرات فى هذا الكتاب .

الفصل الرابع

الكميات الكهربائية الأساسية

تستخلص من نتائج الأبحاث العلمية والهندسية ، قوانين مبنية على « كميات » معرفة بدقة تامة . ومن أمثلة هذه الكميات : الزمن – الطول – الكتلة – القوة .

ولتسهيل كتابة مصطلحات هذه الكميات ، يرمز لها « برموز » تستخدم بكثرة فى الصيغ المختلفة . وتستخدم الحروف ، عادة ، لهذه الرموز ، وعلى سبيل المثال : يمكن أن يرمز للطول بالرمز « ل » وهكذا .

والكميات المستخدمة فى الهندسة الكهربائية على سبيل المثال هى : شدة التيار ،والجهد ، والمقاومة ،والمواسعة ، والمحاثة .

ويستخدم لقياس كل كمية وحدة واحدة على الأقل . ووحدة كمية الطول ، مثلا ، هى المتر . وتستخدم الرموز ، عادة ، للتعبير عن الكميات ، بينما تستخدم الاختصارات للدلالة على الوحدات كما يلى :

الوحدة	الاختصار
ثانية	ث
متر	م
كيلوجرام	كجم

والوحدات المستخدمة فى الهندسة الكهربائية ، على سبيل المثال ، هى : الامبير ،والفلط ، والأوم .

وينصح فى كثير من الحالات بالتعبير عن الوحدات بمضاعفاتها وأجزائها ، فمثلا ، لا يعبر عن الأطوال بالمتر ، عادة ، بل يعبر عنها بمضاعفات المتر وأجزائه .

أمثلة :

لا تعطى المسافات فى كثير من الأحيان بالمتر ، بل تعطى بالكيلومتر . فمثلا ، إذا كانت المسافة ١٠ كيلومتر (١٠ كم) ، والكيلومتر هو مضاعف المتر ،أى أن ١ كيلومتر=١٠٠٠متر (١ كم = ١٠٠٠م) .

وعادة ، توقع الأبعاد على رسومات التشغيل الهندسية بالمليمتر ، فمثلا طول رافعة تحكم هو ٢٤٠ مليمتر (٢٤٠مم) . والمليمتر هو جزء من وحدة المتر ، والمتر يعادل ١٠٠٠مم ، أى أن (١م = ١٠٠٠مم) .

والميجاواط هو مضاعف وحدة الواط . حيث ١ ميجاواط = ١٠٠٠٠٠٠ واط . وفيما يلى اختصارات للمضاعفات وأجزائها الأكثر استخداما .

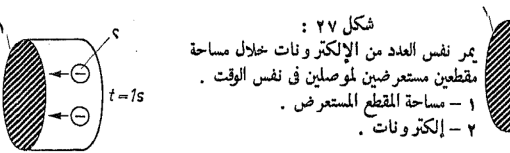
المصطلح		الاختصار			القيمة
تيرا	Tera	تيـ	T	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠	وحـــدة
جيجا	giga	جيـ	G	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠	وحـــدة
ميجا	mega	ميـ	M	١٠٠٠ ٠٠٠	»
كيلو	kilo	كـ	K	١٠٠٠	»
هيكتو	hecto	هكـ	h	١٠٠	»
ديكا	deca	ديـ	da	١٠	»
–		–		١	»
ديسى	deci	دسـ	d	٠,١	»
سنتى	centi	سـ	c	٠,٠١	»
ملى	milli	مـ	m	٠,٠٠١	»
ميكرو	micro	مكـ	μ	٠,٠٠٠ ٠٠١	»
نانو	nano	نن	n	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١	»
بيكو	pico	بك	P	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١	»

٤/١ – شـدة التيـار :

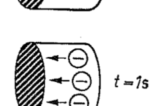
(ا) تعريف شدة التيـار :

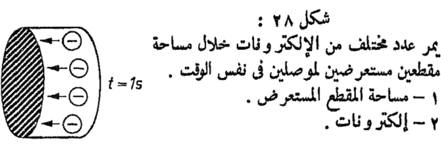
كثيرا ما يستخدم المصطلحان التيار وشدة التيار دون تفرقة بين مدلوليهما ، برغم وجود علاقة وثيقة بينهما . فقديؤدىهذا بسهولة إلى سوء تفسير أى ظاهرة فى الهندسة الكهربائية وعدم فهمها ، وتعتمد شدة التيار على عدد الالكترونات المـارة خلال مقطع من موصل فى الثانية . ويوضح ذلك كل من الشكل (٢٧) والشكل (٢٨) .

والشكل (٢٧) مثال لموصلين بمقطعين مختلفى المساحة ، ويمر خلالهما نفس العدد من الإلـكترونات (ثلاثة فى الحالتين) فى الثانية . وطبقاً لهذا الشكل يتضح أن شدة التيار تكون متساوية فى كل من الموصلين بغض النظر عن مساحة مقطعيهما المستعرضين .



شكل ٢٧ :
يمر نفس العدد من الإلكترونات خلال مساحة مقطعين مستعرضين لموصلين فى نفس الوقت .
١ – مساحة المقطع المستعرض .
٢ – إلكترونات .





شكل ٢٨ :
يمر عدد مختلف من الإلكترونات خلال مساحة مقطعين مستعرضين لموصلين فى نفس الوقت .
١ – مساحة المقطع المستعرض .
٢ – إلكترونات .

والشكل(٢٨) مثال لموصلين متساويين فى مساحة مقطعيهما المستعرضين ، وعدد الإلكترونات التى تمر خلال مساحة المقطع المستعرض العلوى يساوى نصف عدد الإلكترونات التى تمر فى نفس الزمن خلال مساحة المقطع المستعرض السفلى . وتبعاً لذلك ، فإن شدة التيار فى الموصل العلوى يساوى نصف شدة التيار ، فقط ، فى الموصل السفلى .

(ب) وحدة شدة التيار :

وحدة شدة التيار هى الأمبير (وتكتب باختصار مب)

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
شدة التيار	ت	أمبير	مب

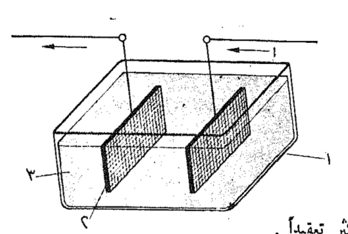
وقد أطلق اسم أمبير على وحدة شدة التيار نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسى أمبير **(Ampére)**.

وتختلف شدة التيار اختلافاً كبيراً كما يبين ذلك الحصر التالى :

الصـــواعق	حتى ٢٠٠٠٠٠	أمبير
أفران الصهر	١٠٠٠٠٠	أمبير
إنتاج الألومنيوم	١٠٠٠٠	أمبير
فى اللحـام	١٠٠٠	أمبير
بادئ الحركة للسيارة	١٠٠	أمبير
الأجهزة المنزلية الكهربائية	حتى ٦	أمبير
الثلاجة الكهربائية	٠,٥	أمبير
المشعل الكهربائى	٠,٢	أمبير
أنابيب إلكترونية لاسلكية	٠,٠٠٠٥	أمبير
سماعة أذن للمستقبل الكاشف	٠,٠٠٠٠٠١	أمبير

(ج) إيجاد قيمة شدة التيار :

شدة التيار كمية أساسية ، أى يمكن استنتاج كميات أخرى منها . فمثلا ، يمكن استنتاج الكمية « المساحة » بسهولة من الكمية الأساسية « الطول » (الطول بالمتر ، والمساحة = ل × ل بالمتر المربع) . ويمكن بسهولة نوعاً ما إيجاد أو تعيين قيمة الوحدة الأساسية للكميات الأساسية المعينة . فمثلا ، يحفظ المتر الامامى الدولى فى باريس ، ويعتبر الوحدة الأساسية للطول . ويوجد منه عدة نسخ إمامية فى عدة بلاد أخرى . وبواسطة مثل هذه الأئمة ، يمكن على المستوى الدولى ، ملافاة أى خطأ قد ينشأ فى مجال تقييم وقياس الكميات ، التى تعتمد على الطول .



شكل ٢٩ :
حوض جلفانى أو إلكتروليتى يستخدم لترسيب الفضة .
١ — وعاء .
٢ — إلكترود .
٣ — محلول نترات الفضة القلوى .

ولإيجاد وحدة شدة التيار نجد أنها أكثر تعقيداً .

واستخدمت لهذا الغرض لفترة طويلة الكيفية التالية :

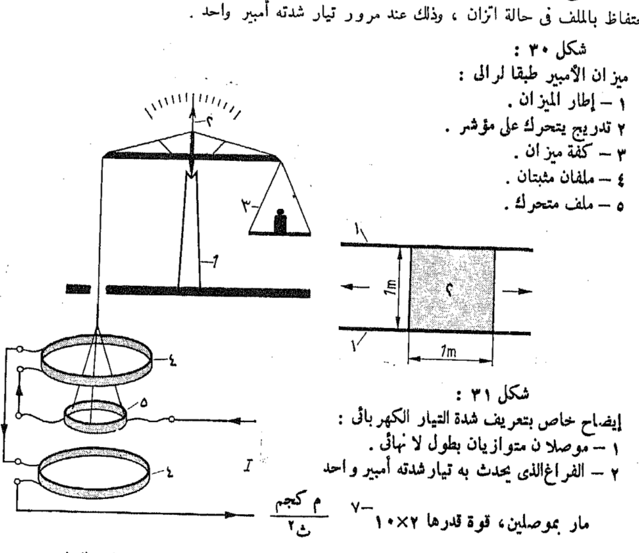
يمرر تيار كهربائى خلال حوض جلفانى ، (الشكل ٢٩) ، يحوى محلول نترات الفضة القلوى كسائل موصل كهربائياً . فيتحلل هذا المحلول كيميائياً ، وتترسب نترات الفضة على أحد الإلكترودين . وتكون شدة التيار أمبير واحد عندما يرسب هذا التيار كمية من الفضة زنتها ١,١١٨ مليجرام فى الثانية الواحدة .

وقد اتفق على التعريف التالى :

تكون قيمة شدة تيار كهربائى أمبير واحد ، إذا رسب هذا التيار ١,١١٨ مليجرام فضة بمروره فى محلول نترات الفضة القلوى لمدة ثانية واحدة .

ويتضح من ذلك صعوبة إيجاد شدة التيار بهذه الطريقة ، وخاصة إذا أريد تعيينها بدرجة عالية من الدقة . ويضاف إلى ذلك رغبة الأوساط العلمية والهندسية فى إدراج الوحدات والكميات تحت نظام يمكن فيه ربطها بعضها ببعض . ولهذا السبب تعرف اليوم شدة التيار بأنها قوة . وبنفس الطريقة ، كما هو الحال فى جهاز قياس فرق الجهد المطلق المستخدم فى قياس الجهود على أساس التأثيرات الديناميكية ، يستخدم ميزان الأمبير لتعيين شدة التيار الكهربائى . وفيما يلى شرح لميزان الأمبير طبقاً لرالى (Raleigh) .

بالشكل (٣٠) أساس ميزان الأمبير هذا . فيرتكز ذراعا رافعة على إطار ميزان . ويحمل أحد طرفى الرافعة كفة ميزان ، ويحمل الطرف الآخر ملفاً مفلطحاً قطره حوالى ٢٠٠ مم . ويوضع هذا الملف بين ملفين آخرين مفلطحين غير متحركين ، وقطر كل منهما ضعف قطر الملف المتحرك. وتوصل الملفات الثلاثة بموصلات رفيعة من الفضة.فعند مرور التيار الكهربائى فى هذه الملفات ، يحدث فيها تأثيرات ديناميكية تدفع بالملف المتحرك بعيداً عن وضع اتزانه . ويمكن إعادة التوازن إلى أصله بوضع سنج فى كفة الميزان . وتجرى حسابات معقدة لتعيين القوة التى تبذلها هذه السنج للاحتفاظ بالملف فى حالة اتزان ، وذلك عند مرور تيار شدته أمبير واحد .



شكل ٣٠ :
ميزان الأمبير طبقا لرالى :
١ — إطار الميزان .
٢ تدريج يتحرك على مؤشر .
٣ — كفة ميزان .
٤ — ملفان مثبتان .
٥ — ملف متحرك .

شكل ٣١ :
إيضاح خاص بتعريف شدة التيار الكهربائى :
١ — موصلان متوازيان بطول لا نهائى .
٢ — الفراغ الذى يحدث به تيار شدته أمبير واحد مار بموصلين، قوة قدرها 2×10^{-7} $\frac{\text{م كجم}}{\text{ث}^2}$

وبناء على عمليات الوزن هذه ، وعلى عمليات رياضية معقدة إلى حد ما ، تعرف شدة التيار ، بقوة يحدثها موصلان متوازيان لا نهائيا الطول .ويوضح الشكل (٣١) تعريف شدة التيار ت = ١ أمبير .

٤/٢ — كمية الكهرباء :

(ا) تعريف « كمية الكهرباء » :

أمكن شرح وتعريف شدة التيار الكهربائى بمساعدة الشكل (٢٧) ، والشكل (٢٨) ، بأنه عبارة عن عدد معين من الإلكترونات تمر عبر مساحة مقطع مستعرض لموصل فى ثانية واحدة .

وحيث أن وحدة شدة التيار قد عرفت ، فإنه يمكن أيضاً تعريف كمية الكهرباء ووحدتها .

إذا اعتبرت كمية الكهرباء (ك) بأنها عدد ما من الإلكترونات ، فيمكن إيجاد شدة التيار الكهربائى (ت) ، من خارج قسمة كمية الكهرباء (ك) على الزمن (ز) الذى يستغرقه مرور كمية الكهرباء هذه ، طبقاً للصيغة التالية :

$$\frac{\text{كمية الكهرباء}}{\text{الزمن (زمن مرور التيار)}} = \text{شدة التيار الكهربائى}$$

أى أن

$$\frac{ك}{ز} = ت$$

ويمكن أن نستنتج من هذه الصيغة تعريف كمية الكهرباء بأنها تساوى حاصل ضرب شدة التيار فى الزمن :

كمية الكهرباء = شدة التيار × الزمن أو بالرموز

ك = ت × ز

(ب) وحدة كمية الكهرباء :

وحدة كمية الكهرباء هى الأمبير – ثانية

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
كمية الكهرباء	ك	أمبير–ثانية	مب–ث

ويطلق على كمية الكهرباء ، والمعروفة أيضاً بالشحنة الكهربائية، كولوم ، نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسى كولوم (Coulomb) ، واختصارها (كب) وينتج من هذا أن

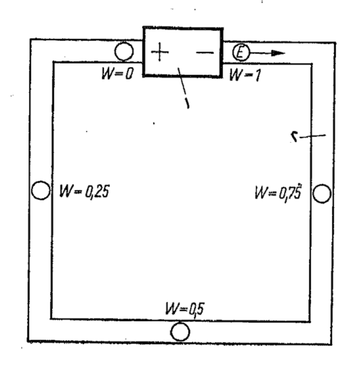
١ أمبير – ثانية = ١ كولوم (١ مب–ث = ١ كب)

وتنتج كمية كهرباء قدرها ١ مب.ث (١ كب) عند إمرار تيار كهربائى شدته ١ أمبير (١ مب) لفترة مقدارها ثانية واحدة (١ ث) .

٤/٣ – الجهد :

(ا) تعريف الجهد :

يصحب أى انفصال فى الشحنة الكهربائية استهلاك فى الطاقة ، أو شغل ، (حيث أن الطاقة والشغل هما كميتان فيزيائيتان من نفس النوع) . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات . فجزء من الطاقة الناتجة عن دلك قضيب من الزجاج وتشغيل دينامو أو مولد ، وكجزء من الطاقة الكيميائية فى بطارية مشعل الجيب ، يعطى للإلكترونات كطاقة دفع أو شغل (ش) . وتمكن طاقة الدفع هذه من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازناً فى الشحنات . وتسمى طاقة الدفع « الجهد » وكانت تسمى من قبل « التوتر الكهربائى » ولكن بطل استعمال هذه التسمية .



الشكل ٣٢
كيفية تصور فكرة الجهد الكهربائى
١ – مصدرجهد (ڤولطية)
٢ – مسار التيار الكهربائى

ويوضح الشكل (٣٢) المقصود بالمصطلح « جهد » . فينتقل الإلكترون مزوداً بطاقة دفع ش = ١ ، فى حالة قفل الدائرة ، من القطب السالب لمصدر الجهد (١) خلال مسار التيار (٢) . وبهذا يستنفد الإلكترون شغلا ، تتحول أثناءه قوة الدفع إلى شكل آخر من الطاقة عادة ، طاقة حرارية) . وعندما يقطع الإلكترون ربع مسار التيار ينخفض جهده (قدرته الدافعة) بمقدار الربع ، وعندما يقطع هذا الإلكترون نصف مسار التيار ، ينخفض جهده بمقدار النصف . ويصبح جهده صفراً عندما يصل إلى القطب الموجب لمصدر الجهد .

استهلاك التيار وهبوط الجهد :

أوردنا فى بداية هذا الكتاب بصفة عامة ملاحظات تتعلق بتأثيرات التيار الكهربائى من الناحية التنشيطية . وقد أصبح يسيراً علينا ، بعد معرفة هذه الملاحظات بالإضافة إلى المعلومات التى سبق الإشارة إليها عن الجهد ، أن نزيل من الأذهان الخطأ الشائع المسمى « استهلاك التيار الكهربائى » ، حيث لا يمكن أبداً أن يستهلك التيار الكهربائى أو الإلكترونات المتحركة ، وكذلك فإن الجهد لا يستهلك ، بل يتحول شكل من الطاقة إلى شكل آخر منها . وفيما يتعلق بالجهد فقد قيل فى هذا المجال : ينخفض الجهد تدريجياً فى دائرة التيار المقفلة ، وذلك يحدث على طول المسار من القطب السالب إلى القطب الموجب . ويطلق على هذا «هبوط الجهد» أو الفقد فى الجهد أو «هبوط الڤلطية» فى الدائرة.

(ب) وحدة الجهد :

« الفلط » هو وحدة الجهد .

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الجهد	ج	ڤلط	ڤل

وقد أطلقت هذه التسمية على وحدة الجهد نسبة إلى عالم الطبيعيات الإيطالى فولتا (Volta) .

وتختلف الجهود اختلافاً كبيراً ، كما يبين ذلك الحصر التالى :

الصـــواعق	حتى ١٠٠٠٠٠٠٠ فلط
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية جداً	٣٨٠٠٠٠ فلط
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية	٦٠٠٠٠ فلط
شمعات الشرر للمحركات البنزين	١٥٠٠٠ فلط
خطوط الإنـارة	٢٢٠ فلط
بطاريات السـيارات	١٢ فلط
دخل معدات اللاسلكى	٠,٠٠٠٠٠٥ فلط

(ج) إمكانيات إيجاد قيمة وحدة الجهد :

يمكن الحصول على جهد ج قدره فلط واحد (١ فل)،وذلك بمساعدة مصدر للجهد جلفانى (خلية جلفانية) تكون قيمة جهده معروفة بدقة ، يمكن اعتباره عملياً مصدراً ثابتاً للجهد . وهذا المصدر للجهد هو « خلية وستون الإمامية » . ويمكن الحصول على جهد قدره فلط واحد من خلية وستون الإمامية و لهـا جهد ثابت قدره ١,١٠٨٣ فلط عندما تكون درجة حرارة الوسط المحيط ٢٠°م .

وهناك تعريف آخر للجهد على أساس القدرة الكهربائية . وسوف نناقش هذا التعريف فيما بعد بالفصل الثامن .

(د) التعاريف المتعددة للجهد :

وضعت تعاريف متعددة فى مجال تطوير الهندسة الكهربائية ، وذلك للتعبير عن الخصائص المميزة للجهود وتطبيقاتهـا .

جهد مسلط :

هو الجهد الفعال فى الدائرة الداخلية ، أى فى خلية جلفانية أو دينامو أو مولد . ويطلق أيضاً على هذا الجهد «القوة الدافعة الكهربائية الابتدائية» . وللدلالة على الجهد المسلط بصفة خاصة يرمز لـه بالرمز (ج) .

جهد طـرفى :

هو الجهد الذى يمكن قياسه عند أطراف مصدر الجهد .

جهد التشغيل أو الجهد المقنن : هو الجهد الذى تضمن محطة القوى الكهربائية تغذية شبكة المستهلكين به كجهد تشغيل (١١٠فلط ،أو٢٢٠ فلط أو ٣٨٠ فلط) ، ومن جهة أخرى ، فإن الجهد المقنن هو الجهد الذى تصمم أو تقنن الأجهزة الكهربائية للتشغيل عليه (مثلا مصباح ١٢ فلط للسيارة) .

جهد منخفض : يبين هذا التعبير مدى للجهود يصل إلى ٤٢ فلط . ولا يشكل هذا المدى عادة خطراً على حياة الإنسان .

جهد المآخذ الرئيسى : يبين هذا التعبير مدى للجهود يشتمل على الجهود بين محطات القوى والمستهلكين تنحصر فى الآتى :

نظام جهد عال جداً	(حتى حوالى ٣٨٠٠٠٠ فلط)
نظام جهد عـال	(حتى حوالى ١١٥٠٠٠ فلط)
نظام جهد متوسط	(حتى حوالى ٣٠٠٠٠ فلط)
نظام جهد منخفض	(١١٠ فلط ، ٢٢٠ فلط ، ٣٨٠ فلط)

٤/٤ – المقـاومة :

(ا) تعريف المقاومة :

يستخدم تعبير « مقاومة » فى الهندسة الكهربائية للدلالة على كمية كهربائية . ولا يستخدم للدلالة على عنصر كهربائى يعوق سريان التيار الكهربائى . وإنما يطلق على هذا العنصر « مقاوم » وسوف نتعرض لشرحه فيما بعد بالفصل السادس .

وتم إيضاح الكمية الكهربائية التى يطلق عليهـا مقاومة بطريق غير مباشر فى شرح الجهد الكهربائى : عندما يمر التيار الكهربائى خلال مسار معين ، تفقد الإلكترونات الطاقة الدافعة (الجهد) ، التى يتحول معظمها إلى حرارة . ويمكن صياغة ذلك كما يلى : يحدث مسار التيار (سواء كان هذا المسار معدنياً أو سائلا موصلا كهربائيا) مقاومة فى طريق الإلكترونات ، ويلزم للالكترونات التغلب على هـذه المقاومة للوصول إلى تعادل فى الشحنة . وسوف نبين بالفصل الخامس ، ضرورة الاعتماد على الكمية « مقاومة » فى شرح قوانين الدائرة الكهربائية .

(ب) وحدة المقاومة :

وحدة المقاومة هى « الأوم »

الكمية	الرمز	الوحدة	الإختصار
مقاومة	م	أوم	Ω

واشتقت هذه التسمية لوحدة المقاومة من اسم عالم الطبيعيات الألمـانى أوم (Ohm) .

(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة :

للحصول على وحدة المقاومة تستخدم طريقة مماثلة لتلك المستخدمة للحصول على جهد قدره فلط واحد من مصدر جهد جلفانى ، باستخدام مسار معين للتيار .

تنتج مقاومة قدرها أوم واحد (Ω) ، إذا سرى تيار كهربائى خلال عمود من الزئبق حرارته مساوية لدرجة ذوبان الجليد ، ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^{٢} وطوله ١٫٠٦٣ متر .

وهناك تعريف آخر للمقاومة يستنتج من العلاقة المتبادلة بين الجهد وشدة التيار ، وسوف نشرح ذلك بالفصل الخامس .

الفصل الخامس

العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون أوم)

سنتعرض فى أثناء الشرح التالى ، إلى بعض أجهزة القياس التى ستأتى تفاصيل تصميمها وطرق تشغيلها فيما بعد بالجزء الثانى من هذا الكتاب (الفصل الثالث) . ويستخدم الأميتر لقياس شدة التيار ، ويستخدم الفلطمتر لقياس الجهد ، بدرجة دقة تكفى للغرض المطلوب .

ويمكن إيضاح العلاقة بين الكميات الكهربائية ، مثل شدة التيار والجهد والمقاومة ، باستخدام أجهزة القياس الكهربائية وبضع ترتيبات اختبار . ووجود مثل هذه العلاقات يفرض نفسه من خلال ظاهرة أو أخرى ، ومن المؤكد استخدام كل فرد لها :

١ — لا يضئ مشعل جيب كهربائى مقننه ٤ فلط إذا وصل بعامود جاف جهده ١,٢ فلط .

٢ — يعطى كشاف دراجة حوالى نصف ضوئه ، إذا دار دينامو هذه الدراجة بسرعة تقدر بنصف سرعته المقننة فقط .

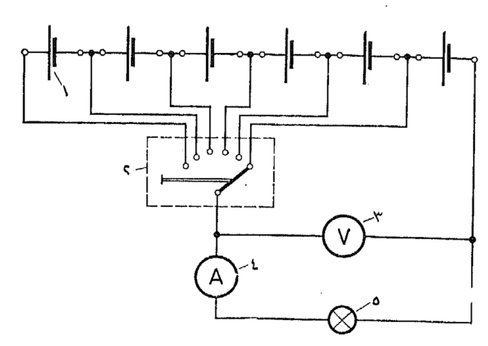
٣ — يحترق فى الحال مصباح كهربائى مقننه ١١٠ فلط ، إذا وصل بمصدر جهده ٢٢٠ فلط .

١/٥ = الخــواص المميزة لشدة التيار / الجهد :

والشكل (٣٣) مثال لرسم الدائرة للترتيبة التى تستخدم فى تحديد العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد .

تتكون هذه الترتيبة من بطارية بست خلايا ، جهد كل منها ٢ فلط ، وبذلك يكون الجهد الكلى للبطارية ١٢ فلط . ويمكن الحصول على مراحل على الجهود الآتية : ٢ فلط ، ٤ فلط ، ٦ فلط ، ٨ فلط ، ١٠ فلط ، ١٢ فلط ، وذلك باستخدام مفتاح خلايا كهربائى (مفتاح منظم) . ويوصل فى هذه الترتيبة فلطمتر ليبين الجهد . وتشتمل هذه الترتيبة أيضاً على أميتر ومصباح متوهج مقننه ١٢ فلط . وتؤخذ ست قراءات وتسجل للجهد وشدة التيار المقابلة كما يلى :

رقم القراءة	الجهد (ج) بالفلط	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٢	٠,٢٥
٢	٤	٠,٥١
٣	٦	٠,٧٥
٤	٨	١,٠٠
٥	١٠	١,٢٥
٦	١٢	١,٥٠



شكل ٣٣ : ترتيبة رسم دائرة لتحديد الخصائص المميزة – شدة التيار /الجهد :
١ – بطارية بست خلايا ، جهد كل منهما ٢ فلط .
٢ – مفتاح خلايا كهربائى (مفتاح منظم كهربائى) .
٣ – فلطمتر .
٤ – أمبير .
٥ – مصباح ١٢ فلط .

الخاصية الأولى التى يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هى : تزداد شدة التيار بازدياد الجهد .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من قسمة الجهد على شدة التيار ت وهى :

مسلسل	١	٢	٣	٤	٥	٦
خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$	٨	٧,٨	٨	٨	٨	٨

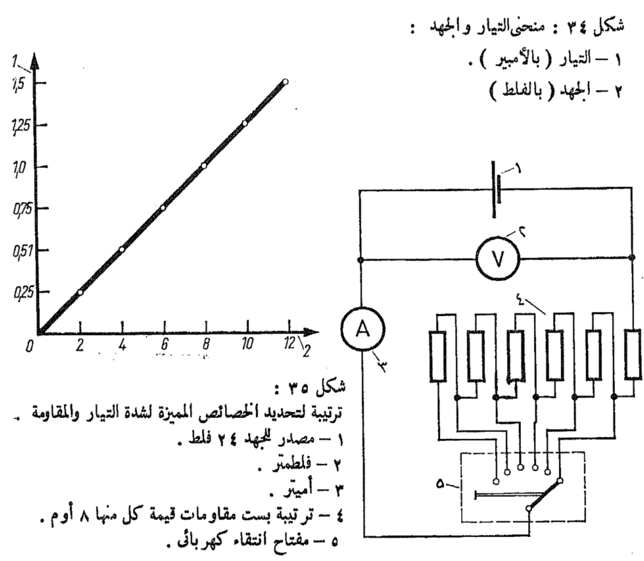
وعلى ذلك تكون قيم خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$ متساوية فى جميع الحالات . ($\frac{ج}{ت}$ ثابت) .

ومنه نحصل على النتيجة التالية :

تزيد أو تنقص كل من شدة التيار والجهد بنفس النسبة ، أى أنهما يتناسبان تناسباً طردياً ج α ت . وتوضح هذه العلاقة برسم منحنى بيانى بين شدة التيار والجهد (الشكل ٣٤) . فتكون العلاقة بينهما عبارة عن خط مستقيم ويمر بنقطة الأصل (دالة خطية) .

٥/٢ – الخصائص المميزة لشدة التيار/المقاومة :

ويبين الشكل (٣٥) مثلا لرسم الدائرة لترتيبة تستخدم لتحديد العلاقة بين شدة التيار والمقاومة.



شكل ٣٤ : منحنى التيار والجهد :
١ — التيار (بالأمبير) .
٢ — الجهد (بالفلط)

شكل ٣٥ :
ترتيبة لتحديد الخصائص المميزة لشدة التيار والمقاومة .
١ — مصدر للجهد ٢٤ فلط .
٢ — فلطمتر .
٣ — أميتر .
٤ — ترتيبة بست مقاومات قيمة كل منها ٨ أوم .
٥ — مفتاح انتقاء كهربائى .

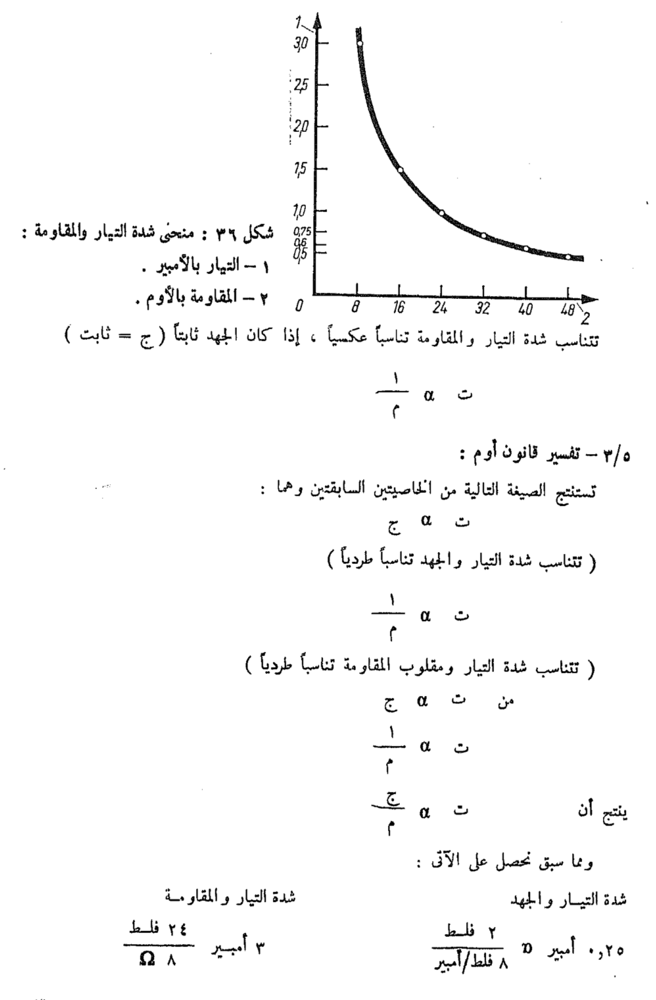
وتتكون هذه الترتيبة من مصدر للجهد يعطى ٢٤ فلط ، وفلطمتر (ويستخدم فقط للتأكد من ثبات جهد المصدر على ٢٤ فلط ، طول فترة التجربة) ، وأميتر ، وترتيبة من ست مقاومات ، مقاومة كل منهـا ٨ أوم . وتوصل هذه المقاومات بمفتاح إنتقاء كهربائى ، لحصول مقاومات فى الدائرة : ٨ Ω ، ١٦ Ω ، ٢٤ Ω ، ٣٢ Ω ، ٤٠ Ω أو ٤٨ Ω حسب وضع المفتاح . وتؤخذ ست قراءات ، وتسجل شدة التيار لكل قيمة من المقاومات السابقة كما يلى :

رقم القراءة	المقاومة (م) بالأوم	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٨	٣
٢	١٦	١,٥
٣	٢٤	١,٠
٤	٣٢	٠,٧٥
٥	٤٠	٠,٦
٦	٤٨	٠,٥

الخاصية الأولى التى يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هى :

تنخفض شدة التيار بازدياد المقاومة .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من المنحنى البيانى لشدة التيار والمقاومة (الشكل ٣٦) كما يلى :



شكل ٣٦ : منحنى شدة التيار والمقاومة :
١ – التيار بالأمبير .
٢ – المقاومة بالأوم .

تتناسب شدة التيار والمقاومة تناسباً عكسياً ، إذا كان الجهد ثابتاً (ج = ثابت)

$$\text{ت} \;\alpha\; \frac{1}{\text{م}}$$

٣/٥ – تفسير قانون أوم :

تستنتج الصيغة التالية من الخاصيتين السابقتين وهما :

$$\text{ت} \;\alpha\; \text{ج}$$

(تتناسب شدة التيار والجهد تناسباً طردياً)

$$\text{ت} \;\alpha\; \frac{1}{\text{م}}$$

(تتناسب شدة التيار ومقلوب المقاومة تناسباً طردياً)

من $\text{ت} \;\alpha\; \text{ج}$

$$\text{ت} \;\alpha\; \frac{1}{\text{م}}$$

ينتج أن $\text{ت} \;\alpha\; \frac{\text{ج}}{\text{م}}$

ومما سبق نحصل على الآتى :

شدة التيار والجهد	شدة التيار والمقاومة
٠,٢٥ أمبير α $\frac{\text{٢ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$	٣ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٨ } \Omega}$

٠,٥ أمبير	α $\frac{\text{٤ فلط}}{\text{٧,٨ فلط /أمبير}}$	١,٥ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{١٦ } \Omega}$
٠,٧٥ أمبير	α $\frac{\text{٦ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$	١ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٢٤ } \Omega}$
١,٠٠ أمبير	α $\frac{\text{٨ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$	٠,٧٥ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٣٢ } \Omega}$
١,٢٥ أمبير	α $\frac{\text{١٠ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$	٠,٦ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٤٠ } \Omega}$
١,٥٠ أمبير	α $\frac{\text{١٢ فلط}}{\text{٨ فلط/أمبير}}$	٠,٥ أمبير $\frac{\text{٢٤ فلط}}{\text{٤٨ } \Omega}$

وعلى أساس هذه المقارنات للقيم العددية يمكن استنتاج الآتى :

١ – يعنى التعبير $\frac{\text{فلط}}{\text{أمبير}}$ التعبير Ω تماماً

٢ – تعطى قيمة شدة التيار فى جميع الحالات باستخدام خوارج القسمة كما يلى :

من $\frac{٢}{٨} = ٠,٢٥$ وفلط $\times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} =$ أمبير

تنتج ٠,٢٥ أمبير

ومن $\frac{٢٤}{٨} = ٣$ ، فلط $\times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} =$ أمبير

ينتج ٣ أمبير

وحيث أن خارج قسمة $\frac{\text{ج}}{\text{م}}$ فى جميع الحالات يساوى قيمة ت (شدة التيار) ، نحصل على الآتى :

$$\text{ت} = \frac{\text{ج}}{\text{م}}$$

$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{الجهد}}{\text{المقاومة}}$$

وقد قام جورج سيمون أوم (١٧٨٩ — ١٨٥٤) بتحقيق هذ الصيغة الأساسية ، وتعرف باسم « قانون أوم » .

وفى حالة معرفة أى كميتين يمكن تحديد الكمية الثالثة بواسطة هذا القانون .

وعندما نرغب فى وضع الكمية المطلوب تحديدها على يمين الصيغة ، تجرى هذه العمليات الرياضية :

(١) $ت = \frac{ج}{م}$ ، ج هى المطلوب نقلها إلى يمين الصيغة بتبديل طرفى الصيغة كل مكان الآخر .

$\frac{ج}{م} = ت$

$\frac{ج}{م} \times م = ت \times م$ بضرب كل من الطرفين فى م

$ج = ت \times م$ بحذف م من الطرف الأيمن

وعليه :

$ج = ت \times م$ الجهد = شدة التيار × المقاومة .

(٢) $ج = ت \times م$ ومطلوب نقل م إلى الطرف الأيمن من الصيغة .

ينتج أن $ت \times م = ج$ بتبديل الطرفين كل مكان الآخر .

$\frac{ت \times م}{ت} = \frac{ج}{ت}$ بقسمة كل من الطرفين على ت

$م = \frac{ج}{ت}$ بحذف ت من الطرف الأيمن .

$م = \frac{ج}{ت}$ المقاومة = $\frac{الجهد}{شدة التيار}$

ويمكن أيضا وضع م فى الطرف الأيمن من الصيغة المستعملة فى (١)

$$ت = \frac{ج}{م} ، \frac{ج}{م} = ت ، \frac{ج}{ج \times م} = \frac{ت}{ج}$$

$$\frac{١}{م} = \frac{ت}{ج} \quad \text{وينتج أن} \quad م = \frac{ج}{ت}$$

ويقتصر استخدام قانون أوم فى الهندسة الكهربائية . وللدقة فى التعبير ، يطبق هذا القانون على الموصلات المعدنية فى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . وسوف نتعرض لهذا الموضوع ونناقش القوانين المشتقة من قانون أوم فيما بعد .

ولزيادة الإيضاح ، نعيد هنا كتابة الثلاث صيغ السابق مناقشتها :

$$\text{شدة التيار ت} = \frac{\text{الجهد ج}}{\text{المقاومة م}}$$

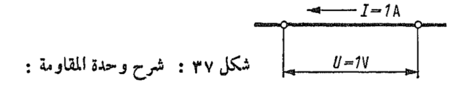
$$\text{الجهد ج} = \text{شدة التيار ت} \times \text{المقاومة م}$$

$$\text{المقاومة م} = \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}} = \frac{\text{ج}}{\text{ت}}$$

(ا) تعريف وحدة المقاومة :

أمكن استنتاج أن خارج قسمة الجهد على شدة التيار $\frac{\text{ج}}{\text{ت}}$ = مقدار ثابت ، وذلك من

الخصائص المميزة لشدة التيار والجهد ، وكذلك أوضح لنا قانون أوم أن $\frac{\text{ج}}{\text{ت}}$ = م ، ونستخلص من ذلك أنه : عندما يمر تيار شدته أمبير واحد عند جهد قدره فلط واحد ، تكون قيمة المقاومة مساوية أوم واحد (١ Ω) ، ويساعد الشكل (٣٧) فى تفهم التعريف الصحيح لوحدة المقاومة .



شكل ٣٧ : شرح وحدة المقاومة :

الأوم الواحد : هو المقاومة الكهربائية بين نقطتين على موصل معدنى درجة حرارته منتظمة ، ويسرى به مؤقتا تيار كهربائى ثابت قيمة شدته أمبير واحد ، عندما يكون هناك جهد قيمته فلط واحد بين هاتين النقطتين .

٤/٥ — حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية :

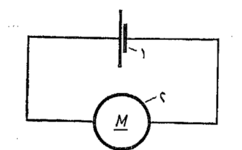
تعرف الدائرة الكهربائية الأساسية بأنها دائرة بسيطة تتكون أساسا من مصدر للجهد ، و جهاز يعمل بالكهرباء . كما تعرف أيضا بالدوائر البسيطة التى تشتمل بالإضافة إلى ذلك على مصاهر ومفاتيح كهربائية توضع فى مسار التيار الكهربائى ، وفيما يلى بضعة أمثلة لحسابات مبنية على قانون أوم فيما يختص بالدائرة الكهربائية الأساسية :

مثـال :

محرك كهربائى دمية (الشكل ٣٨) قيمة مقاومته م ٢٦,٧ Ω ولا يتعدى مقنن شدة تياره ٠,٤٥ أمبير . فا الجهد المطلوب تسليطه على المحرك أثناء تشغيله ؟

المعطيات : م = ٢٦٫٧ Ω
ت = ٠٫٤٥ أمبير

المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٨ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مصدر جهد .
٢ – محرك كهربائى دمية .

الحل :

ج = ت × م
ج = ٠٫٤٥ × ٢٦٫٧
ج = ١٢٫٠١٥ فلط .

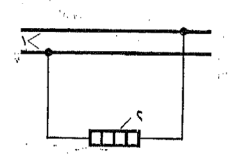
قيمة الجهد المطلوب تسليطه على المحرك الدمية أثناء تشغيله ١٢ فلط .

مثال :

مسخن غاطس (الشكل ٣٩) مقاومته ٧٥ Ω ، وشدة التيار المسموح بها ٢٫٧٥ أمبير . فما الجهد الذى يمكن تشغيل المسخن عليه ؟

المعطيات : م = ٧٥ Ω
ت = ٢٫٧٥ أمبير

المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٩ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مصدر جهد (مأخذ رئيسى) .
٢ – مسخن (مسخن غاطس فى هذه الحالة) .

الحل :

ج = ت × م
ج = ٢٫٧٥ × ٧٥
ج = ٢١٦٫٢٥ فلط

يمكن تشغيل المسخن الغاطس من مأخذ رئيسى جهده ٢٢٠ فلط .

مثـــال :

الجهد عبر متابع عدة تليفون ٢٤ فلط (الشكل ٤٠). وبقياس شدة التيار وجدت ٠,٠٣ أمبير . فما مقاومة هذا المتابع ؟

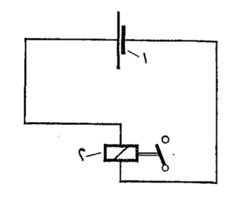
المعطيات : ج = ٢٤ فلط
= ٠,٠٣ أمبير

المطلوب إيجاده : المقاومة م

الحـــل :

$$م = \frac{ج}{ت} ، م = \frac{٢٤}{٠,٠٣} ، م = ٨٠٠ \ \Omega$$

تكون مقاومة المتابع ٨٠٠ Ω



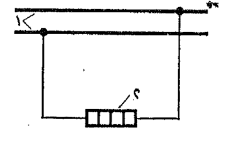
شكل ٤٠ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ — مصدر للجهد .
٢ — متابع .

مثـــال :

مسخن موصل بمأخذ رئيسى جهده ١١٠ فلط (الشكل ٤١) والتيار (ت) المار بالمسخن شدته ١٨,٥ أمبير . فما قيمة مقاومة المسخن م ؟

المعطيات : ج = ١١٠ فلط
ت = ١٨,٥ أمبير

المطلوب : المقاومة م



شكل ٤١ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ — مأخذ رئيسى (مصدر للجهد) .
٢ — مسخن (فرن تجفيف فى هذه الحالة) .

الحـــل

$$م = \frac{ج}{ت} \text{ ، } م = \frac{١١٠}{١٨,٥} \text{ ، } م = ٥,٩٤ \ \Omega$$

تكون قيمة مقاومة المسخن م = ٥,٩٤ Ω

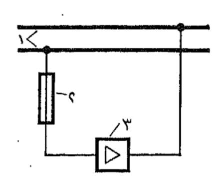
مثـــال :

هل يكفى مصهر مقننه أمبير واحد ، للاستخدام فى مكبر ، موصل على مصدر للجهد ج ٢٢٠ فلط . ومقاومته م ٢٨٠ Ω (الشكل ٤٢) ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلط

م = ٢٨٠ أوم

المطلوب : شدة التيـــار



شكل ٤٢ : دائرة أساسية تشتمل على .

١ – مأخذ رئيسى (مصدر للجهد) .

٢ – مصهر .

٣ – مكبر .

الحـــل :

$$ت = \frac{ج}{م} \text{ ، } ت = \frac{٢٢٠}{٢٨٠} \text{ ، } ت = ٠,٨ \text{ ير}$$

شدة التيار بالتقريب هى ٠,٨ أمبير .

لذا يكفى له مصهر مقننه أمبير واحد .

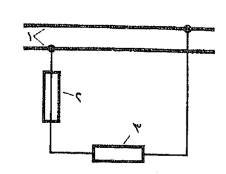
مثـــال :

تركيبات كهربائية تعمل على جهد تشغيل قدره ٢٢٠ فلط ، ومقاومتها ٢,٣١ Ω .
فما شدة التيار ت التى يتحملها المصهر اللازم لوقاية هذه التركيبات ؟

المعطيات ج = ٢٢٠ فلط

م = ٢,٣١ Ω

المطلوب : شـــدة التيـــار ت



شكل ٤٣ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ – مأخذ رئيسى (مصدر الجهد) .
٢ – مصهر .
٣ – مقاوم .

الحـــل :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٢٠}{٢,٣١} ، ت = ٩,٥٢ \text{ أمبير}$$

يتحمل المصهر تيارا كهربائيا شدته ١٠ أمبير لوقاية هذه التركيبات .

الفصل السادس

مواد المواصلات — ومواد المقاومات — والمواد العازلة

يطلق على المواد التى توصل التيار الكهربائى ، بصفة عامة ، موصلات — على حين يطلق على المواد التى لا توصل التيار الكهربائى ، عند درجة حرارة محيطة قدرها ٢٠° م ، مواد غير موصلة أو عوازل . وعادة تصنف المواد طبقا للموصلية الكهربائية على الوجه التــالى :

موصل — شبه موصل — غير موصل ، أو مواد موصلات — مواد مقاومات — مواد عازلة .

ويبين كل من هذين التصنيفين قصورا فى المعنى المقصود منه ، وبالأخذ فى الاعتبار لمــا يهدف إليه هذا الكتاب ، نجد أن التصنيف الأخير هو المفيد ، وذلك بالرغم من أنه لا يشتمل على المجموعة الأكثر أهمية من الناحية الفنية ، والتى تدعو للاهتمام فى الفيزياء الكهربائية ، وهى مجموعة « شبه الموصلات » . وعلى كل فإننا سوف نتناول مجموعة شبه الموصلات ضمن موضوعات أخــرى وهى المقومات الترانزستور .

ويبنى تصنيف المواد إلى مواد موصلات ومواد مقاومات ومواد عازلة ، على الاستخدام المطلوب لها فى الهندسة الكهربائية .وتعتبر ببساطة مواد الموصلات ومواد المقاومات من الناحية الفيزيائية الكهربائية ، موصلات ، بينما تعتبر المواد العازلة غير موصلات .

وتستخدم المعادن وسبائكها كمواد موصلات أو مواد مقاومات . ويستخدم الكربون كذلك وخاصة بعض أشكاله المعدلة مثل الجرافيت كمواد مقاومات .

وفيما يلى مناقشة الفروق بين مواد الموصلات ومواد المقومات والمواد العازلة ، مع أخذ تصرفها كهربائيا فى الاعتبار .

٦-١ — العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة المقطع المستعرض (ج) للموصل :

(ا) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله :

يمكن تحديد العلاقة بين مقاومة موصل وطوله بسهولة ، وذلك بمساعدة ترتيبة الا ختبار الموضح رسم دائرتها بالشكل (٤٤) . وينصح باستخدام سلك مقاومة طوله متر واحد ، من ملف تسخين كهربائى .

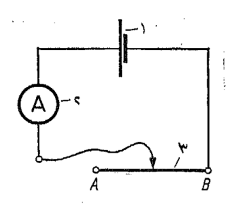
ويوصل السلك المقاوم بين نقطتى أ ، ب (الشكل ٤٤) وتشغل الترتيبة .

شكل ٤٤ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) وطوله (ل) .

١ — مصدر للجهد (حوالى ٢ فلط) .

٢ — أميتر (يقيس حوالى ٣ أمبير) .

٣ — سلك مقاوم طوله متر واحد .



ويبين الأميتر قيمة تطلق عليها هنا (س) ، وعلى هذا تكون :

القيمة المبينـــة	طول سلك المقاومة
س	١ متر

ثم يجرى التوصيل بين الأميتر ونقطة فى منتصف سلك المقاومة أ ب — نجد أن قراءة الأميتر تصبح ضعف القيمة السابقة .

وعلى هذا تكون :

القيمة المبينـــة	طول سلك المقاومة
٢ س	$\frac{١}{٢}$ متر

وبتكرار هذه العملية ينتج ما يـلى :

القيمة المبينـــة	طول سلك المقاومة
٤ س	$\frac{١}{٤}$ متر

ويتضح عمليـــا أن هناك علاقة بين القيمة المبينة وطول سلك المقاومة . وعلى هذا يمكن التوصل إلى النتيجة التـــالية :

١ — تزداد المقاومة كهربائية (م) بزيادة طول الموصل (ل) .

٢ — تتناسب قيمة المقاومة الكهربائية (م) تناسبا طرديا مع طول الموصل .

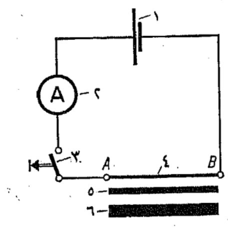
$$م \propto ل$$

(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض :

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض ، وذلك بمساعدة ترتيبة الاختبار الموضحة بالشكل (٤٥) . ويوصى هنا باستخدام ثلاثة موصلات من نفس المـادة ومساحة مقطعها المستعرض ١ مم^{٢} ، ٢ مم^{٢} ، ٤ مم^{٢} ، ولهـا نفس الأطوال .

وبتسجيل قراءة المبين عندما نوصل أى من هذه الموصلات الثلاثة فى الدائرة ، نحصل على النتيجة التـــالية :

القيمة المبينـــة	مساحة المقطع المستعرض للموصل
س	١ م٢
٢ س	٢ م٢
٤ س	٤ م٢



شكل ٤٥ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) ومساحة مقطعه المستعرض (ج) .

١ – مصدر للجهد .
٢ – أميتر .
٣ – مفتاح كهربائى .
٤ – موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م٢.
٥ – موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٢ م٢.
٦ – موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٤ م٢.

نستنتج ما يلى :

١ – تقل المقاومة الكهربائية لموصل بزيادة مساحة مقطعه المستعرض (وعلى ذلك يسمح بمرور تيار كهربائى شدته أعلى) .

٢ – تتناسب المقاومة الكهربائية (م) لموصل تناسبا عكسيا مع مساحة مقطعه المستعرض (ج) .

إدماج هاتين العلاقتين :

تتبعا لقانون أوم يمكن استنتاج ما يـــلى :

م $\propto$ ل ، م $\propto$ $\frac{١}{ج}$

أى أن م $\propto$ $\frac{ل}{ج}$

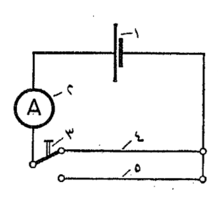
وهذا يعنى أن المقاومة تتناسب تناسبا طرديا مع طول الموصل وعكسيا مع مساحة مقطعه المستعرض :

٢/٦ – المقاومية والموصلية :

(ا) المقـاومية :

تبنى العلاقات السابقة على الأبعاد الهندسية (الطول ومساحة المقطع المستعرض) ، والمقاومات لموصلات من نفس النوع . وعلى ذلك يكون من المفروض ضمنا إيجاد العلاقة بين المقاومة الكهربائية (م) لموصل ، وبين مادته التى يصنع منها .

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين المقاومة الكهربائية ومادة صنعه ، بمساعدة ترتيبة الاختبار المبينة بالشكل (٤٦) . ويوصى باستخدام موصلين لهما نفس الأبعاد ، ولكن من مادتين مختلفتين .



شكل ٤٦ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل ومادة صنعه .

١ – مصدر للجهد .

٢ – أميتر .

٣ – مفتاح كهربائى .

٤ – موصل نحاس : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^{٢}

٥ – موصل صلب : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^{٢}

نستنتج من هذا الاختبار ما يلى :

١ – تكون شـدة التيار فى حالة إدخال موصل نحاس فى الدائرة مساوية ٨ مرات شدة التيار التى تمر فى موصل صلب له نفس الأبعاد عندما يوضع فى نفس الدائرة .

٢ – تختلف شدة التيار التى تمر فى الموصلات باختلاف مواد صنعها ، إذا أدخلت هذه الموصلات فى نفس الدائرة ، وكانت أبعادها واحدة .

لـكل مادة مقاومتها الكهربائية الخاصة بنوعها ، وتسمى « المقاومة النوعية للمادة » .

تسمى الخاصية التى تربط بين المقاومة النوعية لمـادة وأبعادها ل = ١ متر ، ج = ١ م^{٢} ، « بمقاومية المـادة » وإذا رمزنا للمقاومية بالرمز ρ (رو) ، نجد أن المقاومة (م) تتناسب تناسبا طرديا مع المقاومية .

أى أن م $\propto$ ρ

قانون المقاومة :

تدمج العلاقتان م $\propto$ $\frac{ل}{ج}$

م $\propto$ ρ

لنحصل على قانون المقاومة :

$$م = \frac{\rho \times ل}{جـ}$$

ويعنى هذا القانون أن المقاومة الكهربائية لأى موصل ، تعتمد على مقاومية مادة صنعه وطوله ومساحة مقطعه المستعرض .

ولتحديد قيمة المقـاومية لأى موصل ، تحـل المعادلة $م = \frac{\rho \times ل}{جـ}$ لإيجـاد ρ

$$م = \frac{\rho \times ل}{جـ}$$ بتعديل طرفى المعادلة

$$\frac{\rho \times ل}{جـ} = م$$

$$\frac{\rho \times ل}{جـ} \times \frac{جـ}{ل} = م \times \frac{جـ}{ل}$$

بالاختصار فى الطرف الأيمن ينتج :

$$\rho = م \times \frac{جـ}{ل}$$ ل (بالمتر) ، جـ (بالمليمتر المربع) .

وعندما تكون م بالأوم (Ω) ، ل (بالمتر) ، جـ (بالمليمتر المربع) نحصل على وحدة ρ بهذا الشكل $\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$

(ب) الموصلية :

فى حالات متعددة ، لا يكون قانون المقاومة بصيغته السابقة ملائما للعمليات الرياضية التى تتطلبها حسابات أطوال الموصلات ومساحات مقاطعها المستعرضة ومقاوماتها الكهربائية أو مقاوماتها النوعية .

ويفضل عـادة استخدام مقلوب قيمة المقاومية $\frac{1}{\rho}$ ، ويطلق عليه « الموصلية » ويرمز لهـا بالرمز χ (كابا) .

وعلى ذلك تكون الموصلية $\chi = \frac{1}{\rho}$

وتبعا لذلك تحسب المقاومة لأى موصل على أساس :

$$م = \frac{\rho \times ل}{جـ} \qquad أو \qquad م = \frac{1}{\chi} \times \frac{ل}{جـ}$$

مثـــال :

مطلوب عمل ملف مقاومته = ٢٠٠ Ω . وإذا استخدم سلك من النحاس المعزول مساحة مقطعه المستعرض جـ = ٠٫٠٢ مم^2 وموصليته χ = ٥٦ ، احسب طول السلك المطلوب لهذا الملف بالأمتار .

المعطيات :

م = ٢٠٠ Ω

جـ = ٠٫٠٢مم^2

χ = ٥٦ $\frac{م}{\Omega\ مم^2}$

المطلوب : الطول ل بالأمتـــار

الحـــل :

من المعادلة :

$$م = \frac{ل}{\chi\ جـ}$$

$$\frac{ل}{\chi\ جـ} = م \qquad \text{بتبديل طرفى المعادلة}$$

$$\frac{ل \times \chi\ جـ}{\chi\ جـ} = م \times \chi \times جـ$$

بضرب كل من الطرفين فى χ جـ

وبالاختصار فى الطرف الأيمن ينتج أن :

ل = م × χ × جـ

بالتعويض فى المعادلة الأخيرة

ل = ٢٠٠ × ٥٦ × ٠٫٠٢

ل = ٢٤٤ متر

طول السلك المطلوب هو ٢٢٤ متر .

٣/٦ – مواد الموصلات :

(أ) مواد الموصلات وقيم مقاومتها :

اتضح لنا من الشرح السابق أن المقاومة النوعية لمواد الموصلات أقل من المقاومة النوعية للمقاومات أو المواد العازلة . علاوة على أن هناك عدة عوامل يجب أخذها فى الاعتبار عند اختيار المادة التى يصنع منها الموصل ، وهى متانته ، ومقاومته للتأثيرات الخارجية ، وإمكانية تصنيعه . ويوضح الجدول التالى مواد الموصلات الأكثر شيوعا للاستخدام فى الهندسة الكهربائية :

مادة الموصل	المقاومية ρ $\frac{\Omega \text{ مم}^2}{\text{م}}$	الموصلية χ $\frac{\text{م}}{\Omega \text{ مم}^2}$
فضة	٠,٠١٦٥	٦١
نحاس أحمر	٠,٠١٧٨	٥٦
ألومنيوم	٠,٠٢٨٧	٣٥
برونز	٠,٠١٨ إلى ٠,٠٥٦	٥٥ إلى ١٨
سبيكة الدرى	٠,٠٣٣	٣٠
صلب	٠,١٠ إلى ٠,١٥	١٠ إلى ٦,٦
رصاص	٠,٢١	٤,٨

وهذه القيم محسوبة عند درجة حرارة محيطة قدرها ٢٠° م ، ويلاحظ أن القيم المذكورة للموصلية والمقاومية ليست ثابتة بدرجة مطلقة ، حيث أنها تعتمد على النسبة المئوية لنقاء مادة الموصل .

(ب) وصف موجز لمواد الموصلات :

الفضة : ولها أعلى موصلية ولكنها لا تستخدم كمادة موصلات فى تركيبات القوى الكهربائية والتغذية ، وذلك نظرا لارتفاع سعرها وقلة متانتها الميكانيكية . ومع ذلك فقد تستخدم الفضة كعنصر صهر أو ملامسة فى مجموعة مفاتيح التشغيل الميكانيكية الكهربائية .

النحاس : ويعتبر المادة التقليدية للموصلات . وله كل الخواص الكهربائية والميكانيكية اللازمة للاستخدام فى الهندسة الكهربائية ، لذا أصبح النحاس مادة الموصلات المفضلة . ومنذ حوالى ٢٠ عاما ، بدأ الألومنيوم يحل محل النحاس تدريجيا فى خطوط نقل وتوزيع القدرة الكهربائية .

الألومنيوم : وقد أصبح مادة هامة للهندسة الكهربائية بعد تطوير العمليات الاقتصادية لإنتاجه ، إلى جانب خفة وزنه بالنسبة للنحاس . فمثلا ، يساوى وزن خط التوصيل الألومنيوم نصف وزن الخط النحاسى المساوى له فى المقاومة الكهربائية بالرغم من أن مساحة المقطع المستعرض للخط الألومنيوم تكون أكبر . وبفضل استخدامه فى تكوين المكنات الكهربائية وأنظمة نقل القدرة الكهربائيـــة .

البرونز : وهو سبيكة من النحاس . ولإنتاج موصلات مصنوعة منه، يضاف إلى النحاس ما قيمته ٣ فى المـائة من مكونات تشتمل على القصدير والمغنسيوم والزنك والسليكون والبوتاس والفوسفور .

وتستخدم الموصلات البرونز فى الأماكن التى تتعرض للتآكل الكثيف الناتج عن إجهادات ميكانيكية ، مثل خطوط الجـر الكهربائية (السكك الحديد الكهربائية والترام والترولى باس) وما شابههما ، والأجزاء الدوارة (المبدلات وحلقات الانزلاق) فى المكنات الكهربائية .

سبيكة الدرى : وهى سبيكة من الألومنيوم . ويتكون بإضافة كميات صغيرة من المغنسيوم والحديد والسليكون إلى الألومنيوم . ويؤدى هذا إلى تخفيض الموصلية من ١٠ إلى ١٥ فى المـائة بمقارنتها مع الألومنيوم النقى ، ومع ذلك فهذا يؤدى إلى ازدياد مقاومة الشد بحوالى ٧٠ فى المـائة .

الصلب : ويندر استخدامه على حدة كمادة موصلة . وتستخدم أسلاك الصلب أساسا لتزيد من متانة خطوط نقل القدرة للجهد العالى . ولهذا الغرض فإنها تجدل مع موصلات الألومنيوم . وتستخدم القضبان الصلب فى بعض حالات الجـر الكهربائى كموصل رجوع لتكملة الدائرة .

الرصاص : وغالبا ما يستخدم كمادة موصلة فى المراكم التى تحتوى على أحماض (البطاريات) وتصنع أطراف توصيلها وموصلات خلاياها الداخلية من الرصاص (وذلك نظرا لمقاومته للاحماض) ويستخدم الرصاص كموصل تأريض فى الكبلات ذات أغلفة الرصاص .

٦/٤ — مواد المقاومة :

(ا) قيمتهـا ووصف موجز لهـا :

تستخدم مواد المقاومة فى صناعة المقاومات . ويبين الجدول التـالى بضع مواد مقاومة من الشائعة الاستخدام .

مادة المقاومة	المقاوميـــة ρ $\frac{\Omega \text{ مم}^2}{\text{م}}$	الموصليـــة $\frac{\text{م}}{\Omega \text{ مم}^2}$
نيكولايت (ذرننجيبد النيكل)	٠٫٤٣	٢٫٣
مانجنين	٠٫٤٣	٢٫٣
كونستنتان	٠٫٥٠	٢٫٠
نيكل كروم	١٫٠	٠٫٩١
مقاومات كربونية	٣٠	٠٫٠٣٣

وبوجه عام ، يميز بين مواد المقاومة المعدنية ومواد المقـــاومة الخزفية . وتشتمل الأخيرة عادة على الأنواع الكربونية بالرغم من أنه يستخدم فيها جسم يكون عادة على شكل أنبوبة خزفية لحمل طبقة الكربون التى تكون مادة المقاومة .

تكون مواد المقاومة المعدنية الأكثر شيوعا فى الاستخدام عبارة عن سبائك وهى :

النيكولايت : ويتكون من ٥٤ فى المـائة نحاس أحمر و ٢٦ فى المـائة نيكل و ٢٠ فى المـائة زنك .

المانجنين : ويتكون من ٨٦ فى المـائة نحاس أحمر و ١٢ فى المـائة مانجنيز و ٢ فى المـائة نيكل .

الكونستنتان : و يتكون من ٥٨ فى المائة نحاس أحمر و ٤١ فى المـائة نيكل و ١ فى المـائة مانجنيز .

النيكل كروم : ويتكون من ٧٨ فى المـائة نيكل و ٢٠ فى المـائة كروم و ٢ فى المـائة مانجنيز .

وتشكل هذه المواد على هيئة أشكال مستديرة أو مفلطحة وتعتبر مواد المقاومة هذه من المواد الأساسية فى صناعة أجهزة التسخين الكهربائية وأنواع كثيرة من المقاومات .

وتعتمد مواد المقاومة الخزفية أساسا على السليكون ، وتكون عادة ، على شكل أنابيب أو قضبان ، وتستخدم فى صناعة أجهزة التسخين الكهربائية كمقاومة تسخين .

(ب) أنواع المقاومات :

سنشرح هنا الأنواع المختلفة للمقاومة الأومية . ويطلق عليها هذه التسمية لتمييزها عن المقاومات الحثية والمقاومات السعوية . وتتمشى هـذه الأنواع من المقاومات مع قوانين دائرة التيار المستمر .

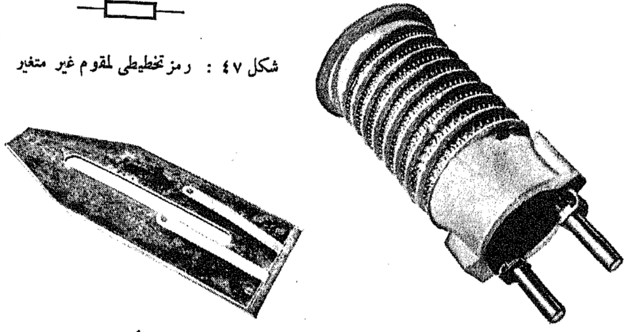
المقاومات الأومية ذات القيم غير المتغيرة :

يبين الشكل (٤٧) الرمز التخطيطى لمقاوم غير متغير .

ويبين الشكل (٤٨) مثالا لمقاوم تسخين فتيلى فى مسخن بشكل قطع مكافئ .

ويبين الشكل (٤٩) مثالا لمقاوم تسخين فتيلى فى مكواة كهربائية .

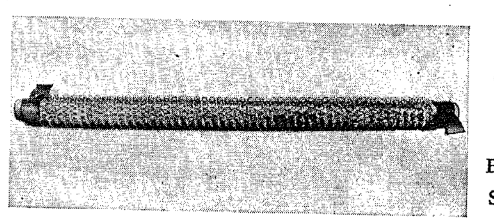
ويبين الشكل (٥٠) مثالا لمقاوم تسخين فتيلى لفرن تلدين (فرن تخمير) .



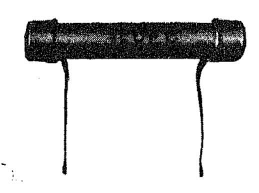
شكل ٤٧ : رمز تخطيطى لمقوم غير متغير

شكل ٤٨ : مسخن أو مقاوم فتيل تسخين لمسخن بشكل قطع مكافئ VEB Elektroworme Sornewitz GDR

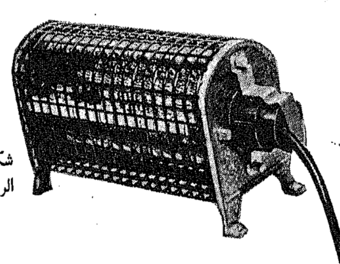
شكل ٤٩ : مقاوم فتيل تسخين لمكواة كهربائية VEB Elektroworme Sornewitz GDR



شكل ٥٠ : مقاوم فتيل تسخين لفرن تلدين . VEB Elektroworme Sornewitz GDR



شكل ٥٢ : مقاوم من النوع الكربونى لهندسة الراديو والتليفزيون .



شكل ٥١ : مقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائى .

شكل ٥٣ : رمز تخطيطى لمقاوم متغير على خطوات :

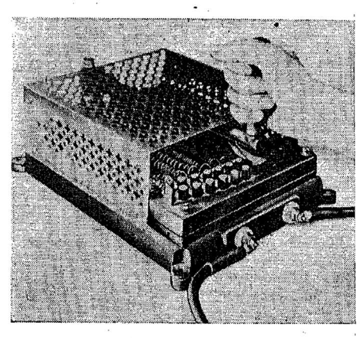
ويمثل الشكل (٥١) رمزا تخطيطيا لمقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائى .
ويمثل الشكل (٥٢) رمزا تخطيطيا لمقاوم من النوع الكربونى لهندسة الراديو والتليفزيون .

مقاومات متغيرة على خطوات :

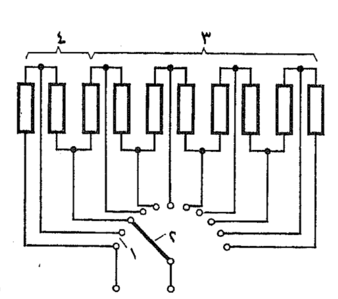
يبين الشكل (٥٣) رمزا تخطيطيا لمقاوم متغير على خطوات ، ويبين الشكل (٥٤) رمزا تخطيطيا لمقاوم بدء دوران لمحرك كهربائى، بينما التمثيل التخطيطى فى الشكل (٥٥) لطريقة تشغيل مقاوم من هذا النوع ، تزاد أو تخفض مقاومته المكافئة م على خطوات ، بواسطة مجموعة مفاتيح تشغيل .

مقاومات متغيرة لا نهائية :

يبين الشكل (٥٦) الرمز التخطيطى لمقاوم متغير لا نهائى يعطى مقاومة أومية .
و الشكل (٥٧) لمقاوم منزلق .
والشكل (٥٨) لمقاوم دوار من السلك الملفوف .
والشكل (٥٩) لمقاوم دوار من النوع الكربونى . ويطلق عادة على المقاوم الدوار مجزئ الجهـد (بوتنشيومتر) .



شكل ٥٤ : مقاوم بدء دوران محرك كهربائى :

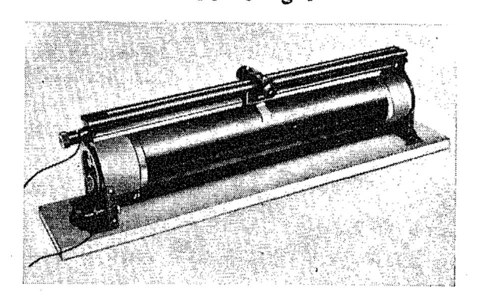


شكل ٥٥ : تمثيل تخطيطي لمقاوم بدء دوران :

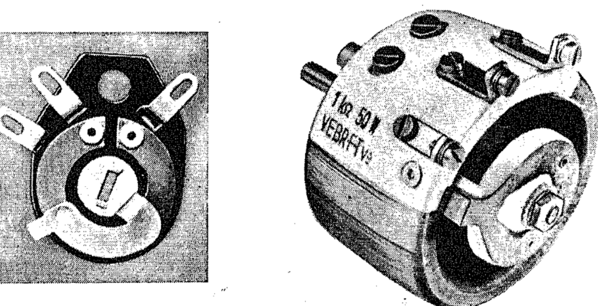
١ — ممر الملامسات .
٢ — ملامس منزلق .
٣ — هذا الجزء من المقاوم ليس له أى تأثير على الدائرة نتيجة لوضع التشغيل المبين .
٤ — الجزء الفعال للمقاوم .



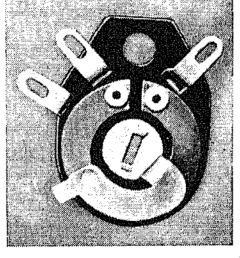
شكل ٥٦ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير لانهائي يعطي مقاومة أومية :



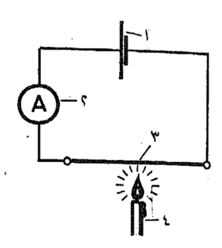
شكل ٥٧ :
مقاوم منزلق :



شكل ٥٨ : مقاوم دوار من السلك الملفوف :
(VEB RET Berlin, GDR)



شكل ٥٩ : مقاوم دوار من النوع الكربوني :



شكل ٦٠ : ترتيبة اختبار لتمثيل تأثير درجة الحرارة :
١ – مصدر للجهد .
٢ – أميتر .
٣ – سلك صلب .
٤ – مصدر للحرارة لهب غاز .

(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة :

كانت مناقشاتنا السابقة فيما يتعلق بالمقاومات مبنية على أساس أن درجة الحـــرارة المحيطة ٢٠°م . ويمكن تحديد تأثير درجة الحرارة على المقاومات باستخدام ترتيبة اختبار كما هو موضح بالشكل (٦٠) وبإجراء القياسات التالية :

١ – عندما يكون السلك المقاوم دافئا .
٢ – عندما يكون السلك المقاوم عند درجة حرارة مرتفعة .
٣ – عندما يكون السلك المقاوم فى حالة الاحمرار .

نلاحظ أن المقاومة تزداد بازدياد درجة الحـــرارة .

وباجراء اختبارات عديدة مماثلة ، نستخلص من النتائج التى نحصل عليها أن المقاومة تتغير بتغيير درجة الحرارة . وعموما ، تزداد مقاومة المعادن النقية برفع درجة حرارتها ، على حين تنقص مقاومة بضع سبائك بارتفاع درجة الحرارة (ويطبق هذا أيضا على السوائل الموصلة كهربائيا) .

المعامل الحرارى :

فى حالات كثيرة يكون من المهم معرفة القيمة الحقيقية للمقاومة عند درجة حرارة معينة . (تخيل ، مثلا ، أن مقاومات فتيل تسخين الصمامات الالكترونية تعتبر مقاومتها ، وبالتالى شدة تيارتها ، ثابتة فقط بعد ارتفاع معين فى درجة الحرارة . ويعبر عن المعامل الحرارى بتأثير درجات الحـــرارة على المقاومة) .

المعامل الحرارى هو ثابت يعبر عن التغيير الذى تتعرض له مقاومة معينة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ، بالنسبة لدرجة حرارة مبدئية ٢٠°م .

ويرمز للمعامل الحرارى بالرمز α (الفا) ، ووحدته $\frac{1}{\text{م}^\circ}$. ولأخذ درجة الحـــرارة المبدئية فى الاعتبار يكتب المعامل الحرارى بالطريقة التـــالية : α_{20}

ويبين الجدول التالى بضع معاملات للحرارة :

المادة	α_{20} بالدرجة المئوية	المادة	α_{20} بالدرجة المئوية
فضة	٠,٠٠٣٨	قصدير	٠,٠٠٤٢
نحاس	٠,٠٠٣٩٣	بلاتين	٠,٠٠٢٥
الومنيوم	٠,٠٠٣٧٧	رصاص	٠,٠٠٤٢
زنك	٠,٠٠٣٧	سبيكة الدرى	٠,٠٠٣٦
نيكل	من ٠,٠٠٣٧	نحاس أصفر	٠,٠٠١٥
	إلى ٠,٠٠٦		
حديد	من ٠,٠٠٤٥	نيكولايت	٠,٠٠٢٣
	إلى ٠,٠٠٦		
		منجانين	٠,٠٠٠٠١
		كونستنتان	٠,٠٠٠٠٣
		نيكل كروم	٠,٠٠٠١٠٠

وتبين الإشارة السالبة للمعامل الحرارى للكونستنتان أن مقاومته تقل بارتفاع درجة حرارته .

مثـال :

تشتمل معدات معمل تجفيف على مقاومات من سلك نيكولايت ، تسخن أسلاك المقاومة إلى ١١٠ م° . فا هى المقاومة الكهربائية لها عند هذه الدرجة ، إذا كانت مقاومتها عند درجة الحرارة المحيطة ٦٣ Ω (٢٠ م) ؟

المعطيات :

$$م_{٢٠} = ٦٣ \ \Omega$$

$$\alpha_{٢٠} = ٠,٠٠٠١ \ \frac{١}{م°}$$

$$\Theta = ١٠٠ \ م°$$

المطلوب : المقاومة عند درجة الحـرارة النهائية ($م_{\Theta}$) .

الحـل :

فيما يلى تعليق على المعادلة المستخدمة فى حل هذه المسألة ، وتصلح هذه الصيغة فقط حتى مدى لدرجات الحـرارة يصل إلى ١٠٠ م° . ويعطى تطبيقها درجة مرضية من الدقة ، وقد اختصرت المعادلة هنا إلى صيغة أساسية ، ويمكن إثبات ذلك بعدة عوامل رياضية معروفة .

يحدد أولا ، الفرق فى درجة الحرارة ، $\Theta - ٢٠$ م°. ثم يضرب فى المعامل الحرارى لمادة المقاومة . ويضاف إلى ناتج الضرب واحد صحيح . ينتج المعامل الذى تضرب فيه المقاومة عند درجة الحرارة المحيطة ، لتنتج قيمة المقاومة $م_{\Theta}$ عند درجة الحرارة النهائية ، وعلى هذا

$$م_{\Theta} = م_{٢٠} \left(١ + \alpha_{٢٠} \left(\Theta - ٢٠ م^{\circ} \right) \right)$$

$$= ٦٣ \left(١ + ٠,٠٠٠١ \frac{١}{م^{\circ}} \left(١٠٠ - ٢٠ م^{\circ} \right) \right)$$

$$= ٦٣ \left(١ + ٠,٠٠٠١ \frac{١}{م^{\circ}} \times ٨٠ م^{\circ} \right)$$

$$= ٦٣ \left(١,٠٠٨ \right)$$

$$= ٦٣,٥٠٤ \ \Omega$$

نلاحظ أن شدة التيار والجهد يتعرضان فى هذه الحالة ، إلى تغييرات طفيفة ، ولكنها غير ملحوظة فى حالة استخدام هذه المادة فى المقاومات . ولكن عندما يستبدل النيكولايت بالنحاس ، الذى معامله الحرارى $\alpha_{٢٠}$ يساوى $٠,٠٠٣٩٣ \frac{١}{م^{\circ}}$

$م_{\Theta} = ٨٣,٨ \ \Omega$. وهذا يعنى زيادة فى المقاومة بحوالى الثلث تقريبا بالنسبة للقيمة المبدئية . ولذلك فإن شدة التيار والجهد يتعرضان لتغيرات كبيرة . ويطلق على مواد المقاومة ذات المعامل الحرارى السالب مثل الكونستنتان موصلات درجات الحرارة العالية أو « ثرمستور » ، ويستخدم فى صناعة فتيل التسخين للصمامات الالكترونيـة .

وتكون المقاومة صغيرة لفتيل التسخين فى أجهزة الاستقبال التى يطلق عليها (مستقبلات كل المآخذ) ، والمعروفة بأجهزة الاستقبال للتيار المستمر والتيار المتردد ، وذلك عند لحظة تشغيلها . حيث يكون التيار المـار بها كبيرا ، مما يعرض الصمام لإجهادات تموجيه ، إلى أن ترتفع المقاومة بقدر كاف عندما تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة التشغيل . وبتوصيل مادة مقاومة معاملها الحرارى سالب من الكونستنتان إلى الدوائر التى يكون من خواصها أن مقاومتهـا تكون منخفضة عند بدء التشغيل (فتيل تسخين) ، ومقاومتها مرتفعة عند التشغيل المستقر . فينتج من ذلك ارتفاع فى مقاومة الفتيل ، وانخفاض فى المقاومة عند التشغيل المستقر . ويؤدى ذلك عمليا إلى ثبات التيار المـار بها . ويمكن استخدام تأثير درجة الحرارة على المقاومة فى قياس درجات الحرارة ، بقياس المقاومة . ويستخدم ذلك على سبيل المثال ، فى قياس الارتفاع فى درجة حرارة الملفات التى يراد اختبارها ، حيث يؤدى ارتفاع درجة حرارة لفيفاتها ، لقيمة غير مسموح بها ، إلى تلف العزل ، الذى يؤدى بدوره إلى انهيار المكنة الكهربائية .

٥/٦ — المواد العازلة :

(ا) تصنيف المواد العازلة :

تم اكتشاف وإنتاج عديد من مواد العزل ، فى مضمار تطوير الهندسة الكهربائية بأعداد كبيرة يصعب حصرها ، ويضاف إلى ذلك تسويق مواد عازلة من نفس المكون تحت أسماء تجارية مختلفة . ويعطى التصنيف التـالى حصرا لـمـا يحتويه هذا المجال المتسع من المواد العازلة :

مواد طبيعية غير عضوية .

مواد طبيعية عضوية .

مواد عزل من الخزف والزجاج .

ورق — نسيج وزيت .

لـدائن .

وتم هذا التصنيف طبقا لطبيعة المـادة المصنوع منها هذه العوازل ، واستخداماتها المختلفة .

(ب) قيم المقاومة لمواد العزل :

يختلف تحديد المقاومية لمواد الموصلات ومواد المقاومات عنه فى مواد العزل ، حيث لا يعتمد تحديد المقاومية لمواد العزل على مساحة مقطع مستعرض مقدارها ١ م^٢ وطول قدره ١ م . ولكن هذا التحديد يكون على أساس مكعب طول ضلعه متر واحد . وهذا هو تعريف الأوم .

مثـال :

القيـمة	الوحـدة
١,١	Ω مم^٢ / م
٠,٠١١	Ω سم^٢ / م
٠,٠٠٠١١	Ω ديسم^٢ / م
٠,٠٠٠٠٠١١	Ω م^٢ / م

ويمكن كتابة التعبير (Ω م^٢ / م) بالطريقة التـالية

(Ω م × م / م)

وتصبح القيمة الأخيرة فى المثال السابق بعد الاختصار ٠,٠٠٠٠٠١١ Ω م .

ويوضح الجدول التـالى بعض مواد العزل ومقادير مقاومات عزلهـا . وللتسهيل سوف تكتب الأرقام مرفوعة للأسس .

مثـــال :

يبين الجدول التـــالى مقاومة العزل للكوارتز ومقدارها ٤×١٠^{١٩} Ω م ويمكن كتابتها أيضا .

٤ × ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ١٠ Ωم أو ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٤٠ Ωم

مادة العزل	مقاومة العزل Ω م
الـكوارتز	٤×١٠^{١٩}
الميـــكا	$١٠^{١٥} - ١٠^{١٦}$
الأســـبتوس	٢×١٠^{١٥}
المطاط الطبيعى	$١٠^{١٦}$
المطاط الصناعى	$١٠^{١٢}$
الصينى الصلد والمصقول	$١٠^{١٤} - ١٠^{١٥}$
الاستيتيت (حجر صناعى)	$١٠^{١٤} - ١٠^{١٥}$
الزجـــاج	$١٠^{١١} - ١٠^{١٤}$
الورق المشرب بالبرافين	$١٠^{١١} - ١٠^{١٢}$
الورق المضغوط	$١٠^{١٠} - ١٠^{١٤}$
زيت المحـــولات	$١٠^{١٢}$
تجهيزات خزفية خاصة	$١٠^{١٠} - ١٠^{١٥}$
اللـــدائن	$١٠^{١٢} - ١٠^{١٥}$

(ج) شرح موجز لمواد عازلة :

الـكوارتز : يستخدم كمادة عازلة فى اجهزة القياس ، وخاصة فى مجالات الترددات العالية . ويستخدم الكوارتز أيضا فى الأغراض التى يعرض فيها لدرجات حرارة عالية ، حيث أنه صامد للحـــرارة وغير حساس للتغيرات فى درجة الحـــرارة .

الميـكا : ويمكن شطرها بسهولة إلى ألواح صغيرة . وتصلح كمادة عازلة فى المواسعات . وتستخدم الواح الميكا المغراة بعضها ببعض بمحلول الشيلاك (الميكاتيت) فى المبدلات ومقاومات التسخين ، اللازمة للمكنات والمسخنات الكهربائية .

الاسبستوس : ويستخدم أساسا فى المسخنات الكهربائية . وهو مادة ليفية تدخل فى إنتاج النسيج العازل . وتشتمل هذه الأنسجة أيضا ، على مواد ليفية أخرى تقلل من استقرارها الحرارى كمنتج نهائى .

القلفونية : وتنتج من الراتنج الطبيعى ، وتستخدم كمادة عزل إضافية للزيوت المعدنية ، أو تستخدم لتشريب الورق العازل المستخدم فى إنتاج الكبلات .

الشيلاك : وهو مادة راتنجية ، بدأ إنتاجه فى الهند ويستخدم بكثرة كمادة عازلة للفيفات المكنات الكهربائيـــة .

المطاط : يصنع من الكاوتشوك الطبيعى . ومن الأنفع استخدامه فيما بين درجتى الحـــرارة − ٣٠ م° ، + ٦٠ م° فقط . وهو حساس لمفعول الزيوت والبنزين . ويعتبر المطاط من المواد العازلة ذات الخصائص الكهربائية الجيدة . ويمكن تشكيله بسهولة .

الصينى : وينتج بأنواع متعددة كثيرة ، ويكون للصينى الصلد الذى يتكون من ٥٠ فى المـائة كاولين و ٢٥ فى المـائة كوارتز و ٢٥ فى المـائة فلسبار ، أهمية عملية فى الهندسة الكهربائية . وتصنع منه عادة العوازل المستخدمة فى الخطوط الهوائية لنقل القدرة الكهربائية للجهد العالى ، كما يصنع منه العوازل النفاذى للمحولات .

الاستيتيت : (ويعرف أيضا بالحجر الصابونى) ويشبه الصينى . ومتانته أعلى منه وخواصه الكهربائية أفضل منه . ويلزم لإنتاج ملفات الترددات العالية .

الزجاج : يندر استخدامه فى الهندسة الكهربائية ، نظرا لمقاومته المنخفضة لتغييرات درجة الحرارة . وقد تستخدم الخيوط الزجاجية فى بعض الأحيان بدلا من الاسبستوس ، نظرا لاستقرارها الحـــرارى العالى . وتستخدم العوازل الزجاجية أحيانا فى البلاد التى تكون درجة حرارتها ثابتة نسبيا .

الورق : يستخدم فى الهندسة الكهربائية إما غير مشرب فى إنتاج كبلات الجهد المنخفض ، أو مشرب بالزيت أو البرافين لأغراض الجهد العـــالى .

الورق المضغوط : وهو ورق يعرض لضغط عالى أثناء تصنيعه . ويستخدم لعمل إطارات المبلفات فى المحولات الصغيرة ، ولملء الفراغات فى العضو الدوار أو العضو الساكن للمكنات الـكهربائيـــة .

الورق المقوى : أو ورق مكون من رقائق ، ويصنع من طبقات من الورق تشرب براتنج وتعرض لضغط يصل إلى ٥٠٠ جوى (كجم/سم^{2}) عند درجة حرارة قدرها ١٢٠ م° . ويوجد الورق المقوى بسمك يتراوح بين ٠٫١ مم و ١٥٠ مم .

نسيج مكون من رقائق : يصنع من طبقات من النسيج مشربة براتنج بطريقة تشابه تلك المستخدمة لإنتاج الورق المقوى . وتصنع من الحرير الصناعى أو الكتان أو القطن أو خيوط الزجاج . ويمكن الحصول عليه تجاريا بسمك فيما بين ٠٫٥ مم و ٣٠٠ مم . وخواصه الميكانيكية أحسن من خواص الورق المقوى .

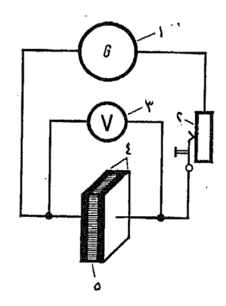
الأنسجة العازلة : وتكون غالبا من شراط القطن أو الحرير الصناعى بعرض بين ٥ مم و ٣٠ مم ، وتستخدم أحيانا مشربة بالزيت فى رباط الكبلات والملفات المحضرة .

الزيوت العازلة : وتستخدم فى الهندسة الكهربائية كمواد عازلة . وكوسيلة لتبديد الحرارة ، وتستخدم الزيوت المعدنية خاصة فى هذه الأغراض .

اللدائن : وقد حلت محل كثير من المواد العازلة المعروفة ، وأصبحت تستخدم على نطاق واسع . وتنقسم اللدائن إلى مجموعتين مختلفتين تبعا لتصرفهما بالنسبة للحرارة وهما : لدائن حراريةوأخرى مصلدة حراريا thermoplastic & thermosetting plastic . ويمكن تليين اللدائن الحرارية مرة ثانية بالتسخين ، وتستخدم كشرائط أو أغلفة عازلة للموصلات . ومن خواص اللدائن المصلدة حراريا دوام صلادتها وجسوءتها بالتسخين ، وتستخدم فى ألواح قواعد المكنات ، وأغلفة المعدات ، وصناديق التوزيع والتحكم وخلافه .

(د) متانة الوسط الكهربائى العازل :

يعتمد استخدام المـــادة العازلة بدرجة كبيرة على متانة وسطها الكهربائى العازل ، ويعرف بالعلاقة بين الجهد المسلط وسمك المـــادة العازلة . والشكل (٦١) مثال لرسم الدائرة لتحديد متانة الوسط الكهربائى العازل لمواد عازلة .



شكل ٦١ : دائرة اختبار لتمثيل متانة الوسط الكهربائى العازل :
١ — مولد جهد عال .   ٤ — لوح معدنى .
٢ — مقاوم متغير .   ٥ — عينة اختبار .
٣ — فلطمتر .

تربط قطعة من العازل المراد اختباره سمكها ١ م بين لوحين معدنيين . ويضبط الجهد المسلط عليهما من مولد جهد عال بواسطة مقاوم متغير . ويقاس هذا الجهد بلفطمتر . وعند قيمة معينة للجهد ، يحدث توصيل كهربائى بين اللوحين المعدنيين على هيئة شرارة ، وتخترق المـــادة العازلة . فإذا وضع مثلا ، لوح من بلاستيك كلوريد عديد الڤينيل (PVC) ، سمكه ١ م بين هذين اللوحين فيلزم تسليط جهد قيمته حوالى ٩٥ ٠٠٠ فلط (٩٥ كيلو فلط) عليهما حتى يتمكن التيار الكهربائى من إحداث شرارة خلال مادة البلاستيك .

ويبين الجدول التـالى قائمة بمتانة الوسط الكهربائى العازل لبضع مواد عازلة :

المواد العازلة	متانة الوسط الكهربائى العازل كيلوفلط / مم
كوارتز	٣٥
ميكا	٢٥–٣٥
ورق مضغوط	٦ –٢٢
ربت محولات	٨ –١٢

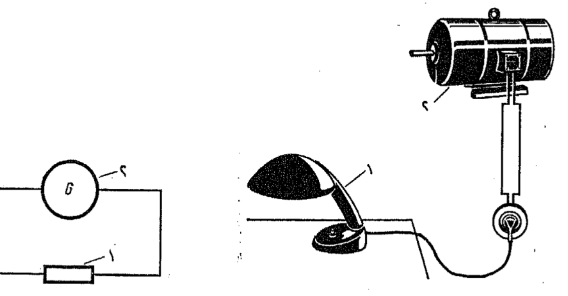
الفصل السابع

دوائر بسيطة وشبكيات كهربائية

فيما يختص بإعطاء تعاريف أكثر دقة لبضعة مصطلحات متعلقة بالدوائر الكهربائية ، ذكرنا فيما سبق أن الأجهزة الكهربائية تسمى محولات طاقة ، حيث يعتمد أداؤها على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . ونعطى هنا نموذجا لدوائر تشتمل على عدة محولات ، فمثلا تتوهج عدة مصابيح كهربائية ، بينما تكون أجهزة الراديو والتليفزيون فى حالة تشغيل . ويشغل مسخن ماء كهربائى ، بينما يقوم محرك ثلاجة كهربائية بإدارة كباس ، كل ذلك يحدث فى نفس الطابق . ويمكن اعتبار كل هذه المحولات للطاقة مقاومات فى دائرة معينة مقاومتها (م) .

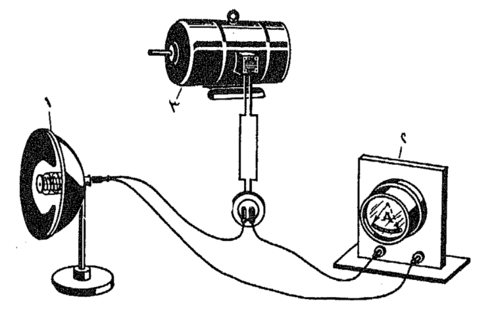
٧/١ – الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات :

يبين التمثيل التخطيطى بالشكل (٦٢) مسار التيار الكهربائى من مولد إلى مصباح كهربائى (أباجورة) ، ثم رجوعا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المصباح الكهربائى مقاوما ، فإننا نحصل على رسم الدائرة الموضح بالشكل (٦٣) .

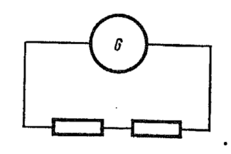


شكل ٦٢ : تمثيل مبسط لترتيبة بها مولد ومصباح :
١ – مصباح منضدة .
٢ – مولد .

شكل ٦٣ : رسم الدائرة للشكل (٦٢) .
١ – مصباح منضدة ممثل بمقاوم .
٢ – مولد .



شكل ٦٤ : تمثيل مبسط لترتيبة دائرة بها مولد وأميتر ومسخن بشكل قطع مكافئ .
١ – مسخن بشكل قطع مكافئ . ٢ – أميتر . ٣ – مولد .



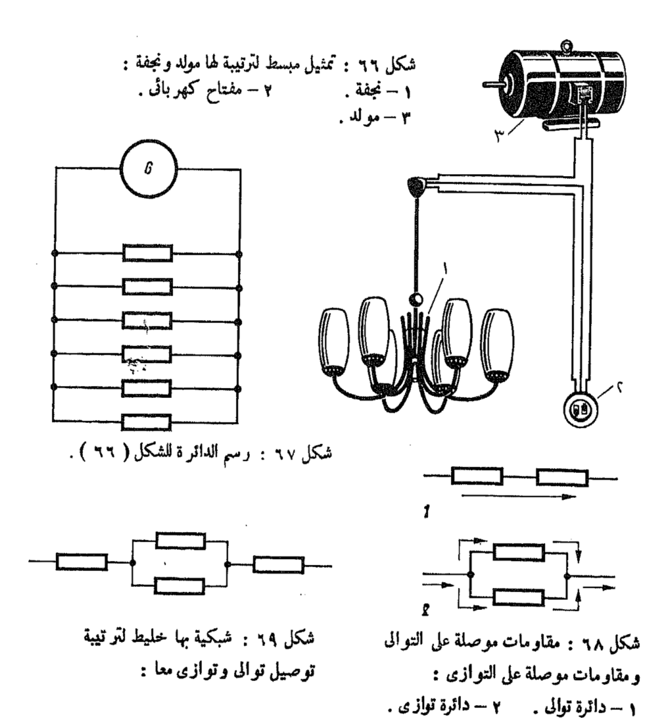
شكل ٦٥ : رسم الدائرة للشكل (٦٤) .

يبين الشكل (٦٤) تمثيلا تخطيطيا لترتيبة دائرة بها مسخن بشكل قطع مكافئ وأميتر ، يمر التيار الكهربائى من المولد خلال الأميتر ثم المسخن ويرجع ثانيا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المسخن والأميتر مقاومين ، فإننا نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل(٦٥) . ويبين الشكل(٦٦) ترتيبة أخرى ، عبارة عن تمثيل مبسط لنجفة بها ستة مصابيح فى وضع التشغيل . وبتمثيل كل من هذه المصابيح بمقاوم مع عدم أخذ المفتاح فى الاعتبار ، نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٧) .

توضح الأشكال من (٦٤) إلى (٦٧) ترتيبتين لدائرتين أساسيتين بمقاومات موصلة كما هو مبين بالشكل (٦٨) . وبالشكل (٧٨ – ١) توصيل على التوالى للمقاومات . وتعطى المقاومات فى ترتيبة الدائرة هذه مسارا أحاديا دون أى تفريع ، ويبين الشكل (٦٨ – ٢) مثالا لمقاومات موصلة على التوازى ، وتتفرع الدائرة عند نقطة وتتصل عند نقطة أخرى .

ويوضح الشكل (٦٩) خليطا لترتيبة توالى وترتيبة توازى ، ويطلق عليه أيضا دائرة مختلطة .

إذا كانت جميع المقاومات موصلة على التوالى فى دائرة معينة ، فيطلق على هذه الدائرة « دائرة بسيطة » ، بينما يطلق على الدائرة التى توصل بها المقاومات على التوازى ، أو على التوازى والتوالى معا « شبكية » . وفيما يلى شرح لحالات الجهد والتيار والمقاومة فى الدوائر البسيطة والشبكيات :



شكل ٦٦ : تمثيل مبسط لترتيبة لها مولد ونجفة :
١ — نجفة .　　　٢ — مفتاح كهربائى .
٣ — مولد .

شكل ٦٧ : رسم الدائرة للشكل (٦٦) .

شكل ٦٨ : مقاومات موصلة على التوالى ومقاومات موصلة على التوازى :
١ — دائرة توالى .　　٢ — دائرة توازى .

شكل ٦٩ : شبكية بها خليط لترتيبة توصيل توالى وتوازى معا :

٧/٢ — الدوائر البسيطة :

يبين الشكل (٧٠) رسما لدائرة بسيطة ، بها مقاومان موصلان على التوالى ، م١ = ٣٠ Ω ، م٢ = ١٠ Ω . ووضع بالدائرة ثلاثة أميترات عندثلاثة مواضع . وقد استعملت هذه الاميترات لتبين شدة التيار ت١ ، ت٢ ، ت٣ عند هذه المواضع الثلاث فى الدائرة.

شكل ٧٠ : دائرة بسيطة تشمل مقاومتين :
١ — مصدر للجهد .　　٢ — أميتر .
٣ — مقاومة م١　　٤ — مقاومة م٢

بتشغيل هذه الترتيبة نلاحظ الظاهرة التـــالية :

« تبين جميع الاميترات نفس القيمة » (وبفرض أن شدة التيار المبينة بكل أميتر فى هذه الحالة هي ٠٫٣ أمبير) . فينتج أن ت١ = ت٢ = ت٣ . ونستنتج من الاختبار السابق ، أو أى اختبار آخر به ثلاثة أو أربعة أو أى عدد من المقاومات على التوالى ما يلى :

تكون قيمة شدة التيار هى نفسها عند أى نقطة فى الدائرة البسيطة .

ويوضح « قانون أوم » العلاقة بين الجهد وشدة التيار والمقاومة (ج ، ت ، م) . ولإيجاد العلاقات بين المقاومان م١ ، م٢ الموصلان على التوالى من جهة ، وبين الجهد وشدة التيار من جهة أخرى . نفرض أن قيمة الجهد المقاس بفلطمتر عبر مصدر للجهد ج = ١٢ فلط ، وحيث أن الأميترات الثلاثة بينت قراءة لشدة التيار قيمتها ٠٫٣ أميتر . وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة (م) من الصيغة التـــالية :

$$م = \frac{ج}{ت} \quad ، \quad م = \frac{١٢}{٠٫٣} \quad ، \quad م = ٤٠ \ \Omega$$

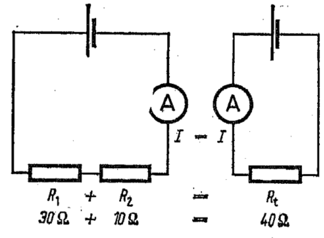
وهذا يعنى أن محصلة المقاومين نتجت من حاصل جمعهما ، حيث أنه ذكر أن م١ = ٣٠ Ω ، م٢ = ١٠ Ω . وإذا أطلقنا على القيمة ٤٠ Ω « المقاومة الكلية » « أو المقاومة المكافئة » لهذه الدائرة ، يمكننا كتابة مك = م١ + م٢

ونستنتج من هذا الاختبار وأى اختبار آخر بمقاومات على التوالى ما يلى :

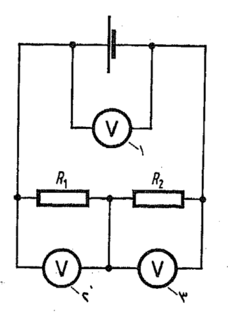
تساوى المقاومة الكلية (أو التى تعرف أيضا بالمقاومة المكافئة) لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالى ، حاصل جمع المقاومات الفردية لهذه المقاومات .

وكذلك أيضـــا :

تكون قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوالى دائما أعلى من أعلى مقاومة على حدة فى هذه المقاومات . ويستخدم الشكل (٧١) لبيان حالات ترتيبات دوائر التوالى . ويلى ذلك الخطوة الثانية لإيجاد اشتراطات الجهد فى الدائرة البسيطة . ويبين الشكل (٧٢) الدائرة السابقة وبها ثلاثة فلطمترات موصلة معا .



شكل ٧١ : يوضح العلاقة بين كل مقاومة على حدة والمقاومة المكافئة لترتيبة توالى :



شكل ٧٢ : دائرة اختبار تستعمل لقياس فروق الجهد فى دائرة بسيطة :
١ – فلطمتر (١) . ٢ – فلطمتر (٢) .
٣ – فلطمتر (٣) .

عند تغذية ترتيبة الدائرة ، تبين الفلطمترات الثلاثة القراءات المختلفة التالية :

الفلطمتر (١)	١٢ فلط
الفلطمتر (٢)	٩ فلط
الفلطمتر (٣)	٣ فلط

وإذا رمزنا للجهد عبر المصدر بالرمز جك ، وكل من الجهدين الجزئيين على المقاومين م١ ، م٢ بالرمزين ج١ ، ج٢ ، يمكننا كتابة :

جك = ج١ + ج٢

نظراً لأن ١٢ فلط = ٩ فلط + ٣ فلط .

وبإجراء أى عدد من التجارب لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالى ، نحصل على النتيجة التالية :

الجهد الإجمالى فى أى دائرة بسيطة يساوى مجموع الجهود الجزئية فى هذه الدائرة .

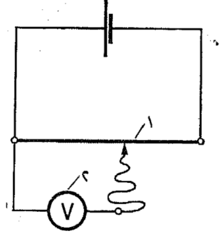
(ا) هبوط الجهد وفقد الجهد :

فى الشكل (٧٣–١) استبدل المقاومان ٣٠ Ω ، ١٠ Ω بقضيب من سلك مقاومته ٤٠ Ω ، ويوصل فلطمتر بالدائرة ، بطريقة يمكن بها عمل تلامس عند أى نقطة على سلك المقاومة بأحد طرف وصلتى الفلطمتر ، بينما يثبت الطرف الآخر عند نقطة اتصال بداية سلك المقاومة بالدائرة .

عند توصيل طرف وصلة الفلطمتر المتحركة بمنتصف سلك المقاومة ، يبين الفلطمتر قراءة قيمتها ج = ٦ فلط . ويمكن تحديد هذه القيمة أيضا كما يلى :

$$ج = \frac{م_ك \times ت}{٢} \quad ، \quad ج = \frac{٤٠ \times ٠{,}٣ \quad أمبير}{٢}$$

ج = ٦ فلط



شكل ٧٣ : هذا الشكل يساعد فى توضيح هبوط الجهد :
١ – سلك مقاومته م = ٤٠ Ω .
٢ – فلطمتر بوصلة متحركة .

وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى اليمين ، تزداد قراءة الفلطمتر تدريجيا حتى تصل إلى قيمة فلط التشغيل لمصدر الجهد ، أى ج = ١٢ فلط . و بتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى الشمال ، تنقص قراءة الفلطمتر تدريجيا إلى أن يبين الفلطمتر ج = صفر . و توضح هذه التجربة أن جهد الدائرة يهبط تدريجيا على أى مقاوم فيها ، ويطلق على ذلك « هبوط الجهد » . ويلعب هبوط الجهد دورا هاما فى الهندسة الكهربائية . فتتكون أى ترتيبة كهربائية من وصلات و محولات طاقة (بإهمال مصدر الجهد) . وعمليا تكون هذه الوصلات و محولات الطاقة مقاومات موصلة على التوالى ، يهبط عبرها الجهد أيضا . ويوضح الشكل (٧٤) هذه الحقيقة .

يتحول هبوط الجهد على الوصلتين (م١ ، م٣) إلى حرارة ، أى يفقد بالنسبة لكل من المستهلك و مولد الطاقة الكهربائية . وعلى هذا يطلق على هبوط الجهد فى وصلات نظام كهربائى « فقد الجهد » . وتحدد محطات القوى الكهربائية « هبوط الجهد » و بالتالى « فقد الجهد » لأى نظام كهربائى معين . وتحدد قيمة « فقد الجهد » تماما فى نطاق الحدود المطلوبة بتحديد مساحة المقطع المستعرض المناسب للخطوط .

مثال :

محول طاقة ، تيار دخله ت = ١٢ أمبير ، موصل بمأخذ رئيسى تيار مستمر ، جهد تشغيله ج = ٢٢٠ فلط ، عند نقطة تبعد ١٢٥ مترا عن وصلة المأخذ ، ولا يتعدى هبوط الجهد المسموح به ٢ فى المائة من جهد التشغيل . و يستخدم النحاس لمادة توصيل . فما مساحة المقطع المستعرض للخط المطلوب تركيبه ؟

المعطيات :

ج = ٢٢٠ فلط .

فقد الجهد ٢ فى المائة

ت = ١٢ أمبير

ل = ٢ × ١٢٥ متر

χ نحاس = ٥٦ $\frac{\text{م}}{\Omega\ \text{مم}^2}$

المطلوب : مساحة المقطع المستعرض (جـ) للسلك .

الحل :

١ – فقد الجهد = $\frac{٢٢٠ \times ٢}{١٠٠}$ = ٤,٤ فلط

٢ – م = $\frac{\text{فقد الجهد}}{\text{ت}}$

شكل ٧٤ : أسلاك ومحولات تكون مقاومات فى الدائرة :
١ – مصدر للجهد (مولد) .
٢ – محرك طاقة (محرك كهربائى) .

$$م = \frac{٤,٤}{١٢} = ٠,٣٦٧ \ \Omega$$

٣ – المساحة (جـ) $= \frac{ل}{\chi \times م}$

$$= \frac{١٢٥ \times ٢}{٥٦ \times ٠,٣٦٧}$$

$$جـ = ١٢ \ مم$$

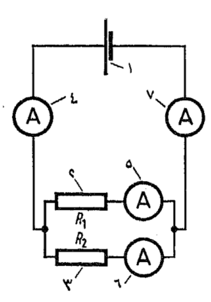
يكفى لهذا الخط مساحة مقطع مقدارها ١٢ $مم^{٢}$

٣/٧ – الشبكيات :

يبين الشكل (٧٥) مثالا لرسم الدائرة لشبكية مكونة من مقاومين $م_{١} = ٣٠ \ \Omega$ ، $م_{٢} = ١٠ \ \Omega$ موصلين على التوازى . ويدخل فى الدائرة أربع أميترات .

شكل ٧٥ : شبكة بمقاومين :

١ – مصدر الجهد .
٢ – مقاوم $م_{١}$
٣ – مقاوم $م_{٢}$
٤ – أميتر (١)
٥ – أميتر (٢) .
٦ – أميتر (٣) .
٧ – أميتر (٤) .



نلاحظ عند تشغيل هذه الترتيبة ما يلى : تبين الأميترات قيما مختلفة طبقا لما سبق شرحه فى الدائرة البسيطة . فيبين الأميتر (١) ، والأميتر (٤) ١,٦ أمبير ، بينما يبين الأميتر (٢) ٠,٤ أمبير والأميتر (٣) ١,٢ أمبير .

ويجمع قيمتى شدة التيار للفرعين $ت_{١}$ ، $ت_{٢}$ اللتان تمران خلال المقاومان $م_{١}$ ، $م_{٢}$ نحصل على شدة التيار الإجمالية $ت_{ج}$ المبينة بالأميتر (١) والأميتر (٤) قبل وبعد التفريع . ونوجد قيمة شدتى التيار $ت_{١}$ ، $ت_{٢}$ فى كل من الفرعين فى الدائرة عند جهد قدره ج = ١٢ فلط كما يلى :

$$ت_{١} = \frac{ج}{م_{١}} ، ت_{١} = \frac{١٢ \ فلط}{٣٠ \ \Omega} ، ت_{١} = ٠,٤ \ أمبير$$

$$ت_{٢} = \frac{ج}{م_{٢}} ، ت_{٢} = \frac{١٢}{١٠} ، ت_{٢} = ١,٢ \ أمبير .$$

وبذلك يمكن كتابة :

$$ت_{ج} = ت_{١} + ت_{٢}$$

وبإجراء عدة قياسات على عديد من مقاومات التوازى نحصل على نفس النتيجة التالية :

التيار الإجمالى فى الشبكية التى يمر بها عدة مقاومات موصلة على التوازى يساوى مجموع التيارات المارة فى فروع الدائرة .

ويمكن تحديد المقاومة المكافئة لمقاومين أو أكثر موصلين على التوازى . فنحدد أولا المقاومة المكافئة $م_ك$ للمثال السابق طبقا للشكل (٧٥) . ويمكن تحديد $م_ك$ بسهولة جدا فى حالة وجود أجهزة قياس :

$$م_ك = \frac{ج}{ت_ج} ، \quad م_ك = \frac{١٢}{١,٦}$$

$$م_ك = ٧,٥ \ \Omega$$

ويمكن تعيين قيمة المقاومة المكافئة إذا عرفنا قيمة كل مقاومة على حدة . ونبدأ بالصيغة التالية :

$$ت_ج = ت_١ + ت_٢$$

وحيث أن $ت = \frac{ج}{م}$ ينتج أن :

$$\frac{ج}{م_ك} = \frac{ج}{م_١} + \frac{ج}{م_٢}$$

وبقسمة الصيغة الأخيرة على ج ينتج :

$$\frac{١}{م_ك} = \frac{١}{م_١} + \frac{١}{م_٢}$$

وهذا يعنى :

مقلوب المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصلة على التوازى يساوى مجموع مقلوب مقاومة كل مقاوم على حدة .

وتطبيقا على المثال السابق ينتج من هذا ما يلى :

$$\frac{١}{م_ك} = \frac{١}{٣٠} + \frac{١}{١٠}$$

$$\frac{١}{م_ك} + \frac{١}{٣٠} + \frac{٣}{٣٠} = \frac{٤}{٣٠ \ \Omega}$$

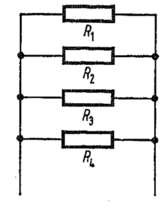
ومن مقلوب هذه الصيغة (برفع الصيغة للأس – ١) ينتج :

$$م_{ك} = \frac{٣٠ \ \Omega}{٤}$$

$$م_{ك} = ٧,٥ \ \Omega$$

وهذه هى نفس النتيجة التى تم الحصول عليها من الحسابات المبنية على الجهد وشدة التيار .

مثال :



المطلوب إيجاد المقاومة المكافئة $م_{ك}$ طبقا للشكل (٧٦)

$$\frac{١}{م_{ك}} = \frac{١}{٢٥} + \frac{١}{٥٠} + \frac{١}{٤٠} + \frac{١}{١٠٠}$$

$$\frac{١}{م_{ك}} = \frac{٨}{٢٠٠} + \frac{٤}{٢٠٠} + \frac{٥}{٢٠٠} + \frac{٢}{٢٠٠}$$

$$\frac{١}{م_{ك}} = \frac{١٩}{٢٠٠}$$

$$م_{ك} = \frac{٢٠٠}{١٩}$$

$$م_{ك} = ١٠,٥٣ \ \Omega$$

شكل٧٦ : أربع مقاومات موصلة على التوازى :

$م_{١} = ٢٥ \ \Omega$.

$م_{٢} = ٥٠ \ \Omega$.

$م_{٣} = ٤٠ \ \Omega$.

$م_{٤} = ١٠٠ \ \Omega$.

وإذا أخذنا فى الاعتبار حالات الجهد فى الشبكيات ذات المقاومات الموصلة على التوازى ، نجد أن نفس الجهد يكون مسلطا على كل فرع به مقاوم .

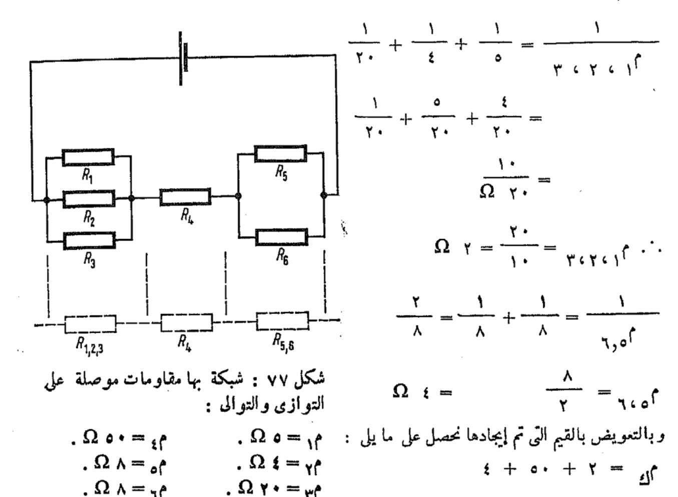
يسلط نفس الجهد على كل فرع به مقاوم فى أى شبكية بها مقاومات موصلة على التوازى .

يستخدم الشكل (٧٧) لإيضاح حالات المقاومة فى شبكية بها مقاومات موصلة على التوازى والتوالى .

فإذا أردنا إيجاد قيمة المقاومة المكافئة $م_{ك}$ لهذه الشبكية ، نفرض أن الدائرة تتكون من ثلاث مقاومات متصلة على التوالى ، يمثل إثنان منها المقاومة المكافئة لتوصيلتى توازى . ويوضح هذا الغرض بالمقاومات المرسومة بالخطوط المتقطعة بالشكل (٧٧) . وعلى هذا يمكن كتابة :

$$م_{ك} = م_{١ ، ٢ ، ٣} + م_{٤} + م_{٥ ، ٦}$$

ثم توجد المقاومة المكافئة بالطريقة التالية :



شكل ٧٧ : شبكة بها مقاومات موصلة على التوازى والتوالى :

$$\frac{١}{م_{١،٢،٣}} = \frac{١}{٥} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٢٠}$$

$$= \frac{٤}{٢٠} + \frac{٥}{٢٠} + \frac{١}{٢٠}$$

$$= \frac{١٠}{٢٠\ \Omega}$$

$$\therefore م_{١،٢،٣} = \frac{٢٠}{١٠} = ٢\ \Omega$$

$$\frac{١}{م_{٥،٦}} = \frac{١}{٨} + \frac{١}{٨} = \frac{٢}{٨}$$

$$م_{٥،٦} = \frac{٨}{٢} = ٤\ \Omega$$

$م_١ = ٥\ \Omega$. $م_٤ = ٥٠\ \Omega$.

$م_٢ = ٤\ \Omega$. $م_٥ = ٨\ \Omega$.

$م_٣ = ٢٠\ \Omega$. $م_٦ = ٨\ \Omega$.

وبالتعويض بالقيم التى تم إيجادها نحصل على ما يلى :

$$م_ك = ٢ + ٥٠ + ٤$$

$$م_ك = ٥٦\ \Omega$$

المقاومة المكافئة لترتيبة هذه الدائرة هى ٥٦ Ω وبإلقاء نظرة فاحصة على الأمثلة السابقة الخاصة بمقاومات التوازى ، نحصل على النتيجة التالية :

تكون قيمة المقاومة المكافئة لأى ترتيبة مقاومات موصلة على التوازى ، أقل دائما من مقاومة أصغر مقاوم على حدة بها .

(ا) إيجاد قيمة $م_ك$ للمقاومات الموصلة على التوازى فى حالات خاصة :

فى ختام مناقشة الدوائر البسيطة والشبكيات الكهربائية تعطى طريقتان تفيدان فى إيجاد قيمة المقاومات المكافئة لعدة مقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازى :

مقاومان على التوازى :

يعاد ترتيب الصيغة $\frac{١}{م_ك} = \frac{١}{م_١} + \frac{١}{م_٢}$ بعد إيجاد المعامل المشترك فى المقام ، بهذه الكيفية :

$$\frac{1}{م_ك} = \frac{م_١}{م_١ \times م_٢} + \frac{م_٢}{م_١ \times م_٢}$$

$$\frac{1}{م_ك} = \frac{م_١ + م_٢}{م_١ \times م_٢}$$

$$م_ك = \frac{م_١ \quad م_٢}{م_١ + م_٢}$$

وللتأكد من ذلك نعوض عن المقاومين $م_١$ ، $م_٢$ بقيمتهما $م_١ = ٣٠ \Omega$ ، $م_٢ = ١٠ \Omega$ ، فنحصل على ما يلى :

$$م_ك = \frac{٣٠ \times ١٠}{٢٠ + ١٠} = \frac{٣٠٠}{٤٠} = ٧,٥ \ \Omega$$

أى عدد من المقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازى :

تشمل الشبكية المبينة فى الشكل (٧٧) ترتيبة لمقاومين لهما نفس المقاومة وموصلين على التوازى ، وهما م ٥ ، ٦ ، وقيمة كل منهما ٨ Ω . وقد أوجدنا قيمة المقاومة المكافئة لهذين المقاومين بنفس الطريقة الرياضية المستخدمة فى إيجاد المقاومة المكافئة م ١ ، ٢ ، ٣ وعلى أى الأحوال ، فيمكن استخدام الطريقة السابقة لإيجاد مقاومتين على التوازى :

$$م_ك = \frac{٨ \times ٨}{٨ + ٨}$$

$$م_ك = \frac{٦٤}{١٦} = ٤ \ \Omega$$

ونعطى هنا طريقة أبسط كما يلى :

$$م_ك = \frac{\text{(قيمة المقاوم على حدة) أوم}}{\text{(عدد المقاومات الموصلة على التوازى) العدد}}$$

$$م_ك = \frac{٨}{٢} = ٤ \ \Omega$$

وإذا وصل ، على سبيل المثال ، ٧ مقاومات على التوازى وقيمة كل منها ٣,٥ Ω

$$م_ك = \frac{٣,٥}{٧} = ٠,٥ \ \Omega$$

(ب) مقارنة بين دوائر التوالى والتوازى :

	دائرة توالى	دائرة توازى
شدة التيار	$ت_{ج} = ت_{١} = ت_{٢} = \dots$	$ت_{ج} = ت_{١} + ت_{٢} + \dots$
الجهد	$ج_{ج} = ج_{١} + ج_{٢} + \dots$	$ج_{ج} = ج_{١} = ج_{٢} = \dots$
المقاومة	$م_{ك} = م_{١} + م_{٢} + \dots$	$\frac{١}{م_{ك}} = \frac{١}{م_{١}} + \frac{١}{م_{٢}} + \dots$

الفصل الثامن

الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية

٨ / ١ ملاحظات عامة على الشغل والقدرة :

يعرف الشغل بمعناه الشامل ، بأنه استنفاد للطاقة فى غرض من الأغراض . فالشخص الذى يحمل جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل ، يبذل شغلا . ولنقل هذا الجوال تلزم قوة معينة – وتقطع مسافة معينة . وفيزيائيا ، فقد بذل شغل ميكانيكى (ش) يساوى حاصل ضرب القدرة (ق) فى المسافة (ف) ، إذا كانا فى نفس الاتجاه ، وعليه فإن :

$$ش = ق \times ف$$

ويمكن تفهم المقصود بالقدرة إذا أخذنا فى الاعتبار الزمن الذى يبذل خلاله الشغل .فمثلا يبذل شخص يحمل ٢٠ جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل خلال ساعة واحدة شغلا أكثر من شخص يحمل ١٥ جوالا فقط من الحبوب لنفس المسافة وفى نفس الزمن . وفيزيائيا ، فقد نتجت عن ذلك قدرة ميكانيكية (قد) وتساوى حاصل ضرب القوة (ق) فى المسافة (ف) مقسوما على الزمن (ز) أو الشغل مقسوما على الزمن ، وعليه فإن :

$$قد = \frac{ق \times ف}{ز} = \frac{ش}{ز}$$

وسوف نتناول فيما يلى الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية .

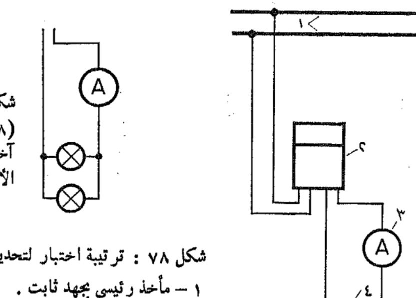
٨ / ٢ – الشغل الكهربائى :

يساعد الشكلان (٧٨) ، (٧٩) فى شرح العلاقات بين الجهد وشدة التيار والزمن . ومعرفة هذه الكميات لازمة لتحديد الشغل الكهربائى .

يبين الشكل (٧٨) رسم الدائرة لترتيبة مكونة من عداد كهربائى (عداد واط ساعة) وأميتر ، ومحول طاقة (فى هذه الحالة مصباح متوهج) .

عند تشغيل هذه الترتيبة ، فسوف يبين العداد (لا نحتاج حاليا إلى شرح طريقة عمله) الشغل الكهربائى المبذول ، وذلك بواسطة نبيطة عد ميكانيكية . وتبقى قراءة الأميتر ثابتة خلال هذا الزمن . وبمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعة بقراءته بعد تشغيل نصف ساعة نجد أن القراءة أصبحت الضعف .

ونحصل على نفس النتيجة بمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعتين بقراءته بعد ساعة تشغيل .



شكل ٧٩ : نفس ترتيبة الشكل (٧٨) مع إضافة مصباح متوهج آخر وله نفس معدل المصباح الأول ويوصل معه على التوازى .

شكل ٧٨ : ترتيبة اختبار لتحديد الشغل الكهربائى :
١ — مأخذ رئيسى بجهد ثابت . ٣ — أميتر .
٢ — عداد كهرباء . ٤ — مصباح .

وحيث أن الجهد وشدة التيار ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائى تناسبا طرديا مع زمن التشغيل ، وذلك فى حالة ثبوت الجهد وشدة التيار .

ش α ز (ج ، ت ثابتان) .

يوضح الجدول (٧٩) نفس الترتيبة المبينة فى الشكل (٧٨) ، ولكن يوصل بها على التوازى مصباحان متوهجان بدلا من مصباح واحد ويكون لهما نفس مقننه .

وبتشغيل هذه الترتيبة ، نجد أن قراءة العداد بعد نفس زمن التشغيل للاختبار السابق ، تصبح ضعف القراءة التى حصلنا عليها فى حالة مصباح واحد . وحيث أن الجهد وزمن التشغيل ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائى مع شدة التيار تناسبا طرديا ، فى حالة ثبوت الجهد والزمن .

ش α ت (ج ، ز ثابتان) .

وبتطبيق العلاقة بين الشغل الكهربائى والجهد نحصل على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائى مع الجهد تناسبا طرديا فى حالة ثبوت قيمة شدة التيار وزمن التشغيل .

ش α ج (ت ، ز ثابتان) .

وبإدماج النتائج السابقة ، نحصل على الخلاصة التالية :

الشغل الكهربائى (فى دائرة التيار المستمر) يساوى حاصل ضرب الجهد وشدة التيار والزمن .

ش = ج × ت × ز .

ويمكن تفسير قصر هذه القاعدة على دوائر التيار المستمر بعد دراسة مفهوم التيار المتردد .

٨/٣ – القدرة الكهربائية :

هناك علاقة بين الشغل والزمن ، كما سبق شرحه عند إيجاد قيمة القدرة الميكانيكية . وينطبق ذلك أيضا على القدرة الكهربائية ، وعليه فإن :

$$\text{القدرة الكهربائية} = \frac{\text{الشغل الكهربائى}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{قـد} = \frac{\text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز}}{\text{ز}}$$

وحيث أن خارج قسمة $= \frac{\text{ز}}{\text{ز}} = ١$ ، ينتج أن :

القدرة الكهربائية = الجهد × شدة التيار

$$\text{قـد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

القدرة الكهربائية ، فى دائرة التيار المستمر ، تساوى حاصل ضرب الجهد فى شدة التيار .

ووحدة القدرة الكهربائية هى فلط – أمبير . ولقد أطلق عليها المصطلح واط تكريما للعالم الانجليزى جيمس واط (١٧٣٦ – ١٨١٩) .

وحدات الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية :

الكميـة	الرمز	الوحـدة	الاختصار
الشغل	ش	واط ثانية	و.ث
القـدرة	قـد	واط	واط

وتستخدم وحدات مشتقة من هذه الوحدات الأساسية مثل :

كيلو واط ساعة (ك.و.س) .

١ ك . و.س = ٠٠٠ ٦٠٠ ٣ واط ثانية (وث) .

وتستخدم عادة الوحدات التالية للقدرة الكهربائية :

١ كيلوواط (ك.و) = ١٠٠٠ واط

١ ميجا واط = ٠٠٠ ١٠٠٠ واط

مثال :

ما زمن تشغيل مصباح إشعاعى ليبذل شغلا قيمته ١ كيلوواط ساعة ، إذا كان دخل قدرته ٢٥٠ واط ؟

المعطيات :

قـــد = ٢٥٠ واط

ش = ١ كيلوواط ساعة

المطلوب : الزمن ز

الحل :

$$\text{قد} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}} \quad ، \quad \text{ز} = \frac{\text{ش}}{\text{قـــد}}$$

$$\text{ز} = \frac{\text{١ ك و س}}{\text{٢٥٠ واط}} = \frac{\text{١٠٠٠ واط س}}{\text{٢٥٠ واط}} = \text{٤ ساعة}$$

يمكن تشغيل المصباح الاشعاعى لفترة قدرها ٤ ساعات لـكى يبذل شغلا قدره ١ كيلوواطساعة

مثال :

يراد تركيب جهاز طهو كهربائى دخل قدرته ٢٠٠٠ واط فى منزل . يغذى هذا المنزل من دائرة مأخذها الرئيسى ٢٢٠ فلط بمصهر وقاية ١٠ أمبير . وقد تم تركيب المعدات الكهربائية المنزلية العادية ، مثل المسخن وجهاز الراديو والتليفزيون وخلافه . فهل يمكن توصيل جهاز الطهو الـكهربائى هذا دون اتخاذ أى تدبير آخر ؟

المعطيات :

قـــد = ٢٠٠٠ واط

ج = ٢٢٠ فلط

المطلوب شدة التيار ت

الحل :

$$\text{قـــد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{قـــد}}{\text{ج}}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{٢٠٠٠ وط}}{\text{٢٢٠ فلط}} = \frac{\text{٢٠٠٠ فلط أمبير}}{\text{٢٢٠ فلط}} = \text{٩ أمبير}$$

دخل التيار لهذا الجهاز حوالى ٩ أمبير ، ونظرا لوجود أجهزة كهربائية أخرى إلى جانب جهاز الطهو ، تشغل فى نفس الوقت ، فتكون الدائرة محملة بحمل زائد ، وينصهر المصهر نتيجة لهذا الحمل الزائد . لذا يحتاج جهاز الطهو إلى دائرة كهربائية أخرى ، بمصهر وقاية ١٠ أمبير .

٤/٨ – الكفاءة :

يعبر عن كفاءة مكنة أو جهاز أو تركيبات كهربائية بنسبة الخرج النافع إلى الدخل الكلى للقدرة . ويبذل المصممون والمنتجون أقصى جهد ممكن فى جميع الفروع الهندسية ، فى سبيل تصميم وبناء المكنات والأجهزة وغيرها ، لتحقيق اقتراب هذه النسبة من الواحد الصحيح أو مائة فى المائة . وهذا يعنى أن المشترى يبحث دائما عن مثل هذه المكنة أو الجهاز الذى يكون استهلاك وفقد طاقته أصغر ما يمكن . ومثال ذلك : المصابيح الفلورية ذات الجهد المنخفض ، التى حلت محل المصابيح المتوهجة فى كثير من المصانع والمكاتب . وهذا يرجع أيضا إلى الكفاءة الضوئية العالية لها . و تتراوح هذه الكفاءة بين ٣ و ٣,٥ أضعاف كفاءة المصابيح المتوهجة ، التى لها نفس دخل القدرة ، ويرمز للكفاءة بالرمز η (ايتا) ، ويرمز لدخل القدرة بالرمز $قد_{د}$ وخرج القدرة بالرمز $قد_{خ}$ وعليه .

$$\eta = \frac{قد_{خ}}{قد_{د}}$$

ويعبر عن الكفاءة بكسر عشرى (فمثلا ٠,٩ ، ٠,٧ ، ٠,٦٢) ويبين خرج القدرة المتاحة بدلالة كسور من دخل القدرة . وإذا أريد التعبير عن الكفاءة كنسبة مئوية ، تجرى الطريقة التالية :

$$\eta = ٠,٥ = \frac{٥٠}{١٠٠} = ٥٠ \text{ فى المائة .}$$

مثال :

وجد أن خرج القدرة لجهاز كهربائى هو ٤٠٠ واط . وبتوصيل أميتر بخط التغذية ، لوحظ أنه يبين شدة تيار قيمتها ٢,٢٨ أميتر ، وكان جهد المأخذ الرئيسى ٢٢٠ فلط . ما كفاءة هذا الجهاز ؟

المعطيات :

$قد_{خ}$ = ٤٠٠ واط

ت = ٢,٢٨ أميتر

ج = ٢٢٠ فلط

المطلوب :

الكفاءة η

الحل :

$$\text{قد}_{\text{د}} = \text{ج} \times \text{ت} \qquad \text{قد}_{\text{د}} = ٢٢٠ \times ٢,٢٨$$

$$\text{قد}_{\text{د}} = ٥٠١,٦ \ \text{واط}$$

$$\eta = \frac{\text{قد}_{\text{خ}}}{\text{قد}_{\text{د}}} \ ، \quad \eta = \frac{٤٠٠ \ \text{وط}}{٥٠١,٦} \ ، \quad \eta = ٠,٧٩$$

كفاءة هذا الجهاز هى ٠,٧٩

أى أن ٧٩ فى المائة من دخل القدرة المستخدمة أمكن الاستفادة بها .

مثال :

تنص لوحة المقننات (لوحة البيانات) لجهاز كهربائى على أن كفاءته هى ٠,٨٥ ، ودخل قدرته ٢٥٠٠ واط ، ما خرج قدرته ؟

المعطيات :

$$\text{الكفاءة } \eta = ٠,٨٥$$

$$\text{قد}_{\text{د}} = ٢٥٠٠ \ \text{واط}$$

المطلوب : $\text{قد}_{\text{خ}}$

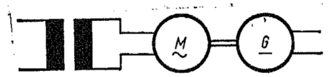
الحل :

$$\eta = \frac{\text{قد}_{\text{خ}}}{\text{قد}_{\text{د}}}$$

$$\text{قد}_{\text{خ}} = \eta \times \text{قد}_{\text{د}} = ٠,٨٥ \times ٢٥٠٠$$

$$\text{قد}_{\text{خ}} = ٢١١٥ \ \text{واط}$$

خرج القدرة لهذا الجهاز هو ٢١١٥ واط



$\eta = 0,93$ $\quad \eta = 0,8$ $\quad \eta = 0,72$

شكل ٨٠ :

رسم الدائرة للمسألة المطلوب حلها :

ويبين التحليل الموجز لتركيبات كهربائية تتكون من ثلاث وحدات ، مدى أهمية أخذ الكفاءة فى الاعتبار .

مثال :

يبين الشكل (٨٠) رسم الدائرة لتركيبات كهربائية مكونة من محول جهد عالى ، ومجموعة توليد كهربائية ، تشتمل على محرك تيار متردد يدير مولد تيار مستمر (وتستخدم مثل هذه التركيبات فى الحمام والطلاء الكهربائى) .

إذا كان دخل القدرة للمحول ٤,٥ كيلوواط . فما الكفاءة الإجمالية لهذه التركيبات ؟

المعطيات :

$قد_{د}$ = ٤,٥ كيلوواط

η للمحول = ٠,٩٣

η للمحرك الكهربائى = ٠,٨

η للمولد الكهربائى = ٠,٧٢

المطلوب :

الكفاءة الإجمالية $\eta_{ج}$

الحل :

يمكن أولا حساب $قد_{د}$ للمحول ، ونعتبر هذه النتيجة $قد_{د}$ للمحرك الكهربائى . نحسب بعد ذلك $قد_{خ}$ للمحرك على أساس دخل قدرته . ونعتبر $قد_{خ}$ للمحرك على أنها $قد_{د}$ للمولد الكهربائى ، ومنها يمكن حساب $قد_{خ}$ للمولد . ويمكن ربط الأخيرة مع $قد_{د}$ للمحول .

ونحصل على نفس النتيجة من حاصل ضرب كل القيم على حدة للكفاءة :

$\eta_{ج}$ = η للمحول × η للمحرك الكهربائى × η للمولد الكهربائى

$\eta_{ج}$ = ٠,٩٣ × ٠,٨ × ٠,٧٢

$\eta_{ج}$ = ٠,٥٣

الكفاءة الكلية لهذه التركيبة ٠,٥٣ . وهذا يعنى أن ٥٣ فى المائة فقط من دخل قدرة المحول أمكن الحصول عليها كخرج قدرة للمولد . أى أنه أمكن استخدام حوالى ٢,٤ كيلوواط فقط من دخل قدرة قيمتها ٤,٥ كيلوواط .

الفصل التاسع

المغنطيسية ، والمغنطيسية الكهربائية

شرحنا فى مقدمة هذا الكتاب التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى . ويستفاد بهذا التأثير فى عدة نبائط وأجهزة ومكنات مغنطيسية كهربائية . فمثلا ، تشغل جميع المكنات الدوارة على مبادئ المغنطيسية الكهربائية . ومن هذه المكنات المولدات والمحركات الكهربائية .

عرف الإنسان من قديم الزمن الظاهرة المغنطيسية ، وكان ذلك قبل اكتشاف الظواهر المغنطيسية الكهربائية بفترة طويلة .

٩/١ – الظواهر المصاحبة للمغنطيسات الطبيعية والصناعية :

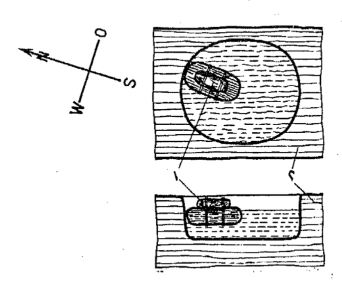
(ا) نبذة تاريخية عن المغنطيسات الطبيعية :

لم يعرف بعد على وجه التأكيد أول من اكتشف الخام الذى عرف بالمجنيتيت أو حجر المغنطيس من قديم الزمن .

ويحدث هذا الخام تأثيرا ديناميكا ، يمكن ملاحظته عند جذبه للمواد الحديدية والنيكل والكوبلت عند تقريبها إليه .

ومن المسلم به أن هذه المعرفة لم يكن لها الأهمية العملية فى ذلك الوقت ، بينما كان الاكتشاف الأكثر أهمية هو التالى : إذا علقت قطعة من المجنيتيت بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها توجه نفسها فى اتجاه معين بالنسبة لما يحيط بها . ونعرف اليوم أن هذا التوجيه يتطابق مع اتجاه شمال جنوب الكرة الأرضية . وقدمت خاصية المجنيتيت هذه وسائل مقبولة . لتوجيه البحارة ، خلال رحلاتهم المحفوفة بالمخاطر فى الأيام الأولى للبحرية .

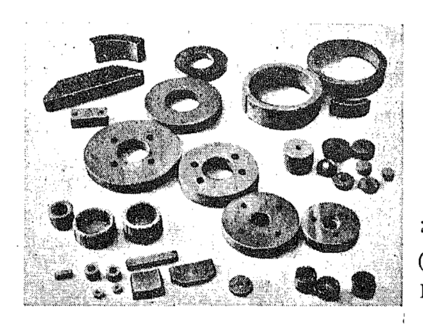
ويبين الشكل (٨١) مثالا للنموذج المبسط لبوصلة جيروسكوبية .



شكل ٨١ : قطعة من المجنيتيت تستخدم كبوصلة بدائية كانت أساسا للبوصلة الحديثة الجيروسكوبية .

١ – خامة مجنيتيت مربوط على قطعة من الخشب .

٢ – إناء خشبى مملوء بالماء ، ويسبح الخام المغنطيسى فى الاتجاه بين الشمال والجنوب .



شكل ٨٢ : مغنطيسات خزفية
(VEB Keramische Werke Hermsdorf, GDR)

(ب) المغنطيسات الصناعية :

لم يعد للمجنيتيت أهمية عملية فى هذه الأيام . حيث استخدم بدلا منه مغنطيسات صناعية من الصلب وسبائكه وكذلك مغنطيسات خزفية . ويمكن تصنيع الأخيرة فى أى شكل مطلوب كما فى الشكل (٨٢) .

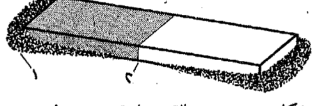
ونبدأ هنا بإيضاح بضعة مفاهيم خاصة بالمغنطيسية ، وذلك باستخدام قضيب مغنطيسى على سبيل المثال :

الأقطاب :

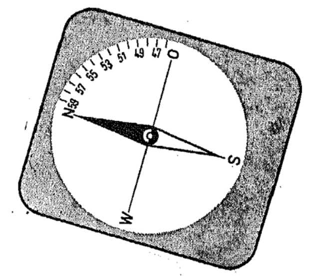
يبين الشكل (٨٣) قضيبا مغنطيسيا موضوعا على برادة حديد ناعمة . ونلاحظ أن الغالبية العظمى من هذه البرادة تتعلق بنهايتى القضيب ، ويطلق على هاتين النهايتين « القطبان » . ولا تتعلق برادة الحديد حول مركز القضيب ، ويطلق على هذا الجزء من القضيب « المنطقة المحايدة » للمغنطيس . ويجب التمييز بين القطب الشمالى والقطب الجنوبى للمغنطيس .

وتشتق تسمية القطبين من توجيه مغنطيس يعلق تعليقا حرا ، فالقطب الشمالى هو الذى يشير إلى الشمال الجغرافى .

ويبين الشكل (٨٤) بوصلة جيب بسيطة ، قضيبها المغنطيسى على هيئة إبرة مغنطيسية .



شكل ٨٣ : توزيع القوى على قضيب مغنطيسى .
١ – تؤثر القوى العظمى عند القطبين .
٢ – تأثير القوى فى المنطقة المحايدة غير ملحوظ .



شكل ٨٤ : بوصلة فى وضع اتجاه الشمال – الجنوب .

ولا ينطبق القطبان المغنطيسيان للكرة الأرضية على القطبين الجغرافيين تماما ، بل يوجد بينهما انحراف يؤخذ فى الاعتبار عند تدريج البوصلة .

وتكون أقصى شدة للتأثير المغنطيسي عند قطبى المغنطيس .

التجاذب والتنافر :

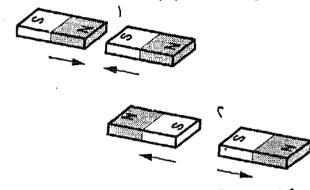
يبين الشكل (٨٥) قضيبا مغنطيسيا معلقا بحيث يكون حر الحركة ، ويقرب إليه مغنطيس آخر ، نلاحظ ما يلى :

بتقريب القطب الشمالى للقضيب المغنطيسي نحو القطب الجنوبى للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير نحو القضيب المقرب إليه . وهذا يعنى أنه عندما ما يواجه القطب الشمالى لمغنطيس القطب الجنوبى لمغنطيس آخر فإنهما يتجاذبان . ولكن عندما نقرب القطب الجنوبى لمغنطيس نحو القطب الجنوبى للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير بعيدا عن المغنطيس المقرب . وهذا يعنى أنه عندما يواجه قطب مغنطيسى قطباً مغنطيسيا آخر مشابهاً له فى القطبية ، فإنهما يتنافران .

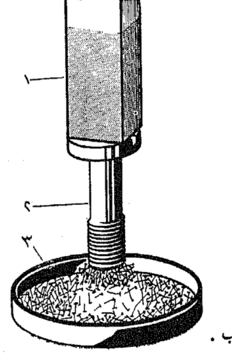
تتجاذب الأقطاب المغنطيسية المختلفة القطبية ، وتتنافر الأقطاب المغنطيسية التى لها نفس القطبية (قانون تأثير القوى المغنطيسية) .

الحث المغنطيسى :

لقد تم وصف الحث الكهربائى عند شرح الظاهرة الاستكاتيكية الكهربائية . ويحدث أيضا حث مغنطيسى كما هو موضح بالشكل ٨٦ . حيث يوضع قطب مغنطيسى فوق مجموعة دبابيس صغيرة ، على مسافة كبيرة ، بحيث لا تنجذب إليه . وإذا وضعنا على سبيل المثال ، مسمار مكنة ملولب ، بين قطب المغنطيس والدبابيس ، يجذب اللولب الدبابيس الصغيرة ، بفرض أن المسافة بينهما تكون صغيرة بدرجة كافية . وإذا حركنا المغنطيس بعيدا عن اللولب ، نلاحظ سقوط الدبابيس المعلقة باللولب .



شكل ٨٥ : تجاذب وتنافر المغنطيسات :
١ يتجاذب القطب الجنوبى والقطب الشمالى .
٢ – تتنافر الأقطاب التى لها نفس القطبية .



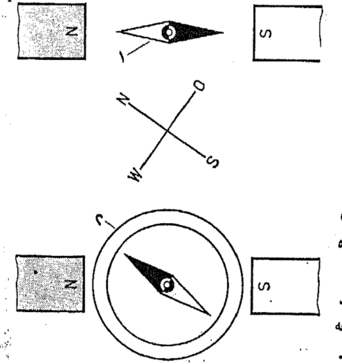
شكل ٨٦ : الحث المغنطيسى :
١ – قضيب مغنطيسى . ٣ – مسمار مكنة ملولب .
٢ – وعاء به دبابيس .

(جـ) الاستبقائية:

إذا وضعنا بدلا من مسمار المكنة الملولب ، المصنوع من الصلب ، قطعة أخرى من الحديد المطاوع (مادة حديدية غير مصلدة) ، فى الحيز بين القضيب المغنطيسى والدبابيس ، نلاحظ أيضا سقوط الدبابيس عند رفع المغنطيس ، بينما يكون لدى قطعة الحديد المطاوع القدرة على جذب برادة الحديد . ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : لا تتلاشى المغنطيسية كلية بإبعاد القضيب المغنطيسى المؤثر ، وإنما تكون هناك بقية صغيرة منها ، فى الحديد المطاوع . وتسمى هذه الظاهرة « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستبقائية » . وقد أفادت هذه الظاهرة فى تطوير صناعة المولدات الكهربائية فائدة كبيرة ، وسوف يأتى شرح هذا فيما بعد .

تأثير الحجب المغنطيسى :

لا تتجه إبرة مغنطيسية فى اتجاه المغنطيسية الأرضية إذا وضعت بين قضبى مغنطيس ، ولكنها تتجه فى اتجاه الشمال الجنوبى للقضيب المغنطيسى ، نظرا لأن الأخير يحدث قوة أكبر على الإبرة من قوة المغنطيس الأرضى . وبوضع حلقة من الحديد المطاوع بين قطبى المغنطيس ، وإبرة مغنطيسية داخل هذه الحلقة ، نجد أن الإبرة تأخذ اتجاه الشمال الجنوبى للمغنطيس الأرضى . ويتضح أنه ليس للمغنطيس أى تأثير مغنطيسى داخل حلقة الحديد المطاوع . ويطلق على هذه الظاهرة « تأثير الحجب المغنطيسى » ، وتستغل هذه الظاهرة فى البوصلات المستخدمة فى السفن . وعادة ما يدخل فى صناعة هذه السفن ، كميات كبيرة من الصلب ، مما يؤثر على انضباط الإبرة المغنطيسية . ولهذا السبب تحجب الإبرة المغنطيسية لضمان الضبط الصحيح لها فى اتجاه الشمال الجنوب . ويوضح الشكل (٨٧) تأثير الحجب المغنطيسى .



شكل ٨٧ : بيان تأثير الحجب المغنطيسى

١ – تتجه الإبرة المغنطيسية فى إتجاه الأقطاب الموضوعة بينها .

٢ – إذا وضعت حلقة من الحديد المطاوع بين الأقطاب ، فإن الإبرة تتجه فى الاتجاه الشمالى –الجنوبى الأرضى .

(د) النظرية الجزيئية للمغنطيسية :

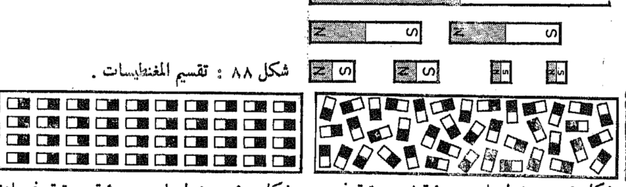
فى مجال دراسة الظواهر المغنطيسية ، كان لابد من البحث عن إجابات لعديد من الأسئلة ، فعلى سبيل المثال ، يوجد دائما قطبان مختلفا القطبية فى المغنطيس ، ولا يوجد مغنطيس بقطب واحد . ولماذا يكون للمغنطيسات الصلب (والمغنطيسات الخزفية) مغنطيسية دائمة ، بينما تحتفظ المغنطيسيات من الحديد المطاوع بمغنطيسية استبقائية فقط ؟ . مثل هذه الأسئلة ، يمكن الإجابة عليها بفرض أن المواد المغنطيسية تتكون من مغنطيسيات متناهية فى الصغر تسمى « مغنطيسيات جزيئية » .

يوضح الشكل (٨٨) كيفية تكوين هذا المفهوم . بتقسيم قضيب مغنطيس عند المنطقة المحايدة ، نحصل على قضيبين مغنطيسيين ، لكل منهما قطب جنوبى واحد وقطب شمالى واحد . ويمكن الإستمرار فى هذا التقسيم ، وأصغر ما نحصل عليه ، يكون عبارة عن مغنطيس بقطب جنوبى وقطب شمالى .

ويفترض أنه حتى مثل هذه الأجزاء الصغيرة التى لا يمكن قطعها من المغنطيس بأدوات القطع العادية ، تظل مغنطيسات ، وبمعنى آخر تكون أصغر أجزاء المواد المغنطيسية مغنطيسات . وحيث أنه يطلق على الأجزاء الصغيرة من المادة جزيئات ، فيطلق على هذه المغنطيسات الصغيرة « المغنطيسات الجزيئية » .

ويفترض أيضا أن المغنطيسات الجزيئية فى أى مادة مغنطيسية بعيدة عن التأثير المغنطيسى تكون فى أوضاع غير مرتبة وبغير اتجاه مفضل (الشكل ٨٩) .

وعند مغنطة هذه المواد المغنطيسية مثلا ، بدلك قضيب مغنطيسى ، ترتب المغنطيسات الجزيئية نفسها بالطريقة المبينة بالشكل (٩٠) . وبمغنطة الحديد المطاوع ، يفقد مغنطيسيته بعد وقت قصير ، ولكن يبقى قليل من المغنطيسات الجزيئية به فى حالة مرتبة . وهذا هو سبب حدوث ظاهرة الاستبقائية . وعندما يمغنط الصلب يتحول إلى مغنطيس . ويرجع ذلك إلى بنية الصلب الكثيفة والقوية . ويفقد الصلب مغنطيسيته إذا تعرض لاهتزازات عنيفة ، أو درجات حرارة عالية .



شكل ٨٨ : تقسيم المغنطيسات .

شكل ٨٩ : مغنطيسات جزيئية غير مرتبة فى مادة مغنطيسية

شكل ٩٠ : مغنطيسات جزيئية مرتبة فى مادة مغنطيسية

شكل ٩١ : هذا التوضيح يساعد فى تباين المجال المغنطيسى

١ – مغنطيس .

٢ – إبرة مغنطيسية فى نطاق مدى المجال المغنطيسى .

٣ – حدود المجال المغنطيسى .

٤ – إبرة مغنطيسية خارج نطاق مدى المجال المغنطيسى .

٢/٩ – المجالات المغنطيسية :

(ا) تعريف مفهوم المجال المغنطيسى :

يستخدم الشكل (٩١) لإيضاح مفهوم المجال المغنطيسى . وفيه ترتب إبر مغنطيسية بحيث ترتكز لتكون حرة الدوران ، على مسافات مختلفة حول مغنطيس .

وتوضع الإبر المغنطيسية فى مستوى واحد معين (الشكل ٩١) وعلى أى حال ، فإنه يمكن وضع هذه الإبر فوق أو أسفل هذا المستوى المعين أيضا . ونلاحظ الظاهرة التالية : تنضبط جميع الإبر المغنطيسية بحيث تشير إلى المغنطيس ، وذلك فى نطاق مسافة معينة منه ، وخارج هذا النطاق تنضبط الإبر المغنطيسية بحيث تكون فى الاتجاه الشمالى – الجنوبى الأرضى .

ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : تؤثر القوى المغنطيسية الناتجة عن مغنطيس فى نطاق حيز معين ، يطلق عليه « المجال المغنطيسى » .

والمجال المغنطيسى هو حيز تكون المغنطيسية فعالة فى نطاقه ، بحيث توجد عند أى نقطة فيه قوة مغنطيسية .

وللأرض مجال مغنطيسى أيضا . ويوضح الترتيب الخاص للإبر المغنطيسية المبين فى الشكل (٩١) الحقيقة بوجود مجالين مغنطيسيين ، المجال المغنطيسى للأرض والمجال المغنطيسى للمغنطيس !

(ب) خطوط المجال المغنطيسى ونماذج خطوط المجال :

لتعذر إمكانية مشاهدة حدود وقوى المجال المغنطيسى بطريقة مرضية ، نستخدم ما يسمى « بخطوط المجال المغنطيسى ونماذجها » ، وتعرف أيضا بخطوط الفيض المغنطيسى ، كوسيلة لتوضيح هذه الظاهرة .

ويساعد الشكلان (٩٢) ، (٩٣) فى تفهم كيفية تكوين وتخيل صورة لخطوط المجال المغنطيسى . فبغمس قضيب مغنطيسى ، أو مغنطيس على هيئة حدوة الحصان ، فى كومة صغيرة من برادة الحديد ، يتعلق بالمغنطيس عدد كبير من البرادة بترتيب معين .



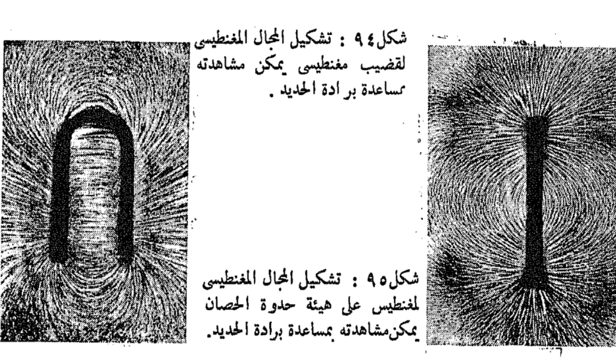
شكل ٩٢ : قضيب مغنطيسى معلق به برادة حديد .



شكل ٩٣ : مغنطيس على هيئة حدوة الحصان معلق به برادة حديد .

ويتضح من هذه التجربة أن كمية قليلة من البرادة تتعلق بالقضيب المغنطيسى فى المنطقة المحايدة منه ، بينما توجد القوى العظمى عند قطبي مغنطيس حدوة الحصان ، ويوضح الشكلان التأثير الخاص بالمغنطيسية .

ويمكن إيضاح خطوط الفيض المغنطيسى بطريقة أحسن ، وذلك بواسطة لوح من الزجاج مغطى ببرادة الحديد . وبوضع مغنطيس فوق هذا اللوح ، والدق على اللوح دقا خفيفا ، تنظم الأجزاء نفسها بترتيبة معينة مبينة خطوطا للفيض المغنطيسى على هيئة خطوط متقاربة نوعا . ويوضح الشكلان (٩٤) ، (٩٥) نموذجين لخطوط الفيض المغنطيسى .



شكل ٩٤ : تشكيل المجال المغنطيسى لقضيب مغنطيسى يمكن مشاهدته بمساعدة برادة الحديد .

شكل ٩٥ : تشكيل المجال المغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان يمكن مشاهدته بمساعدة برادة الحديد.

ويستخلص من ذلك ما يلى :

خطوط الفيض المغنطيسى هى خطوط مغلقة وتمتد من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى للمغنطيس . وتبين نماذج خطوط الفيض شكل المجال المغنطيسى .

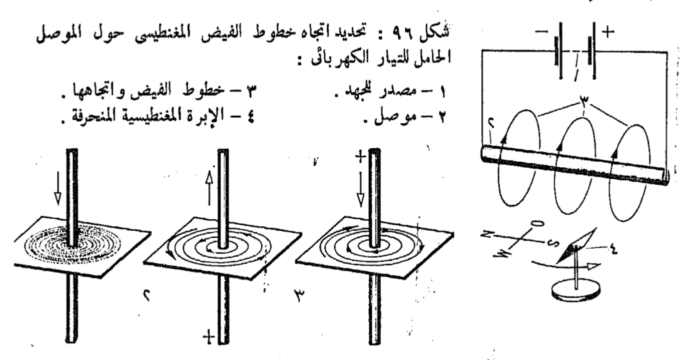
٩/٣ – الظاهرة المغنطيسية الكهربائية :

شرحنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، وكان أورستد Oersted الفيزيائى الدانمركى أول من اكتشف الظاهرة المغنطيسية الكهربائية . حيث لاحظ فى عام ١٩٢٠ انحراف البوصلة المغنطيسية الموضوعة على محور ارتكاز عن اتجاه الشمال – الجنوب ، إذا وضعت قريبا من موصل مستقيم يحمل التيار الكهربائى . وأوضحت التجارب التى أجراها أورستد تكوين مجالات مغنطيسية حول الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى .

(ا) المجال المغنطيسى للموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٩٦) ترتيبة الاختبار التى يحتمل أن يكون قد استخدمها أورستد . ويبين اتجاه الإبرة المغنطيسية اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .

ويعتمد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى على اتجاه التيار الكهربائى ، ويمكن إثبات ذلك أيضا بمساعدة الإبر المغنطيسية .



شكل ٩٦ : تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى :

١ – مصدر للجهد .
٢ – موصل .
٣ – خطوط الفيض واتجاهها .
٤ – الإبرة المغنطيسية المنحرفة .

شكل ٩٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبيان العلاقة بين اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى واتجاه التيار الكهربائى

١ – خطوط المجال حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .
٢ – اتجاه خطوط المجال .
٣ – اتجاه خطوط المجال بعد عكس اتجاه التيار .

ويبين الشكل (٩٧) ترتيبة اختبار بها موصل يخترق لوحا من الزجاج مغطى ببرادة الحديد الناعمة . وعند إمرار تيار كهربائى بالموصل ، بالدق الخفيف على لوح الزجاج ، ترتب برادة الحديد نفسها طبقا لخطوط الفيض مكونة نموذجا نوعيا للمجال المغنطيسى للموصل . وتبين الإبر المغنطيسية الموضوعة على لوح الزجاج اتجاه الفيض . وعند عكس القطبية فى هذه الترتيبة (وذلك بجعل التيار الكهربائى يمر فى عكس اتجاهه الأول) ، ينعكس أيضا اتجاه الفيض .

ويمكن بسهولة تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى التى تعتمد على اتجاه التيار الكهربائى ، وذلك بمساعدة القاعدتين التاليتين .

قاعدة اللولب :

عند ربط مسمار ملولب يمينى إلى أسفل فى اتجاه سريان التيار الكهربائى ، فان اتجاه دورانه يبين اتجاه الفيض المغنطيسى .

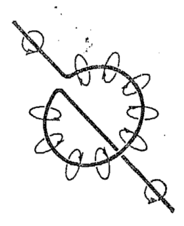
قاعدة الإبهام :

عند القبض على موصل حامل للتيار باليد اليمنى ، بحيث يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه سريان التيار ، تبين أطراف الأصابع اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى .

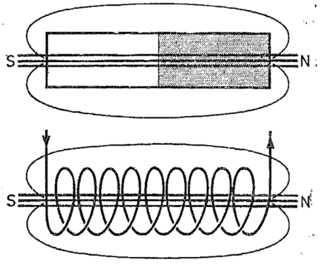
(ب) المجال المغنطيسى لملف حامل للتيار الكهربائى :

عند ثنى موصل مستقيم لتكوين حلقة دائرية ، يحدث تراكب للمجالات المغنطيسية لهذا الموصل ، نتيجة لمرور التيار الكهربائى خلاله . ويبين الشكل (٩٨) حدوث هذه الظاهرة على حلقة أو لفيفة واحدة .

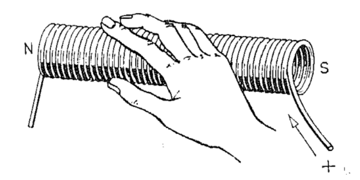
وبوضع عدة لفيفات من موصل بجانب بعضها البعض ، نحصل على ملف . وإذا كان طول هذا الملف كبيرا بالنسبة لقطره ، نلاحظ أن تأثير هذا الملف عندما يمر خلاله تيار كهربائى ، يشبه تماما تأثير قضيب مغنطيسى (الشكل ٩٩) .



شكل ٩٨ : تراكب المجالات المغنطيسية فى ملف حامل للتيار الكهربائى .



شكل ٩٩ : المجالات المغنطيسية لقضيب مغنطيسى وملف حامل للتيار الكهربائى .



شكل ١٠٠ :

ويمكن بسهولة معرفة قطبية الملف الحامل للتيار بمساعدة القاعدتين التاليتين :

قاعدة عقرب الساعة :

عند النظر إلى فتحة ملف ، يكون طرف الملف المواجه للناظر هو القطب الجنوبى إذا مر التيار عبر الملف فى اتجاه حركة عقارب الساعة ، ويكون هو القطب الشمالى إذا مر التيار فى اتجاه عكس حركة عقارب الساعة .

قاعدة الإبهام (الشكل ١٠٠) :

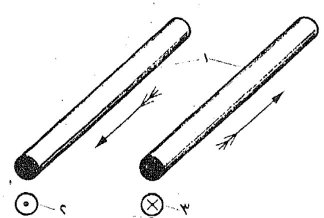
عند القبض على ملف باليد اليمنى ، بحيث تشير أطراف الأصابع لاتجاه سريان التيار بالملف ، يبين الإبهام الممتد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى داخل الملف ، ويبين طرف الإبهام موضع القطب الشمالى .

(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى :

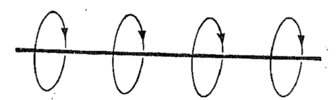
بالإضافة إلى ما سبق شرحه بالنسبة لتأثير المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى على نبائط مثل الإبر المغنطيسية ، يفرض البحث نفسه لإيجاد التأثير المتبادل بين المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى .

التجاذب والتنافر بين الموصلات المتوازية :

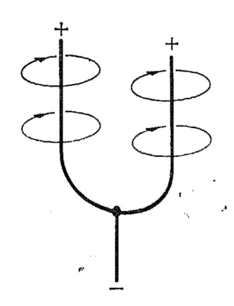
تستخدم هذه الطريقة بكثرة لبيان اتجاه التيار فى موصل . ويبين الشكل (١٠١) قطعتين من موصلين ، ويوضح اتجاه التيار فى كل منهما بسهم مواز لهما . وعند النظر إلى المقطع المستعرض للموصل يظهر رأس السهم على هيئة نقطة ، فى هذه الحالة يكون اتجاه التيار نحو الناظر . وإذا كان سريان التيار فى اتجاه عكسى ، تظهر مؤخرة السهم على هيئة صليب عند مقطع الموصل .



شكل ١٠١ : إيضاح لاتجاه التيار فى الموصلات.
١ – قطعتان لموصلين وموضح عليهما اتجاه سريان التيار .
٢ – يسرى التيار فى اتجاه الناظر .
٣ – يسرى التيار فى الاتجاه العكسى للناظر .



شكل ١٠٢ : موصل مستقيم وعليه خطوط المجال المغنطيسى :



شكل ١٠٣ : موصل بشكل حرف U .



شكل ١٠٤ : تمثيل للمجال المغنطيسى لموصلين متوازيين يحملان التيار فى نفس الاتجاه .

ويبين الشكل (١٠٢) موصلا كهربائيا وخطوط المجال المغنطيسى تحيط به . وبثنى هذا الموصل كما فى الشكل (١٠٣) ، يكون الفيض المغنطيسى كما هو مبين فى الشكل (١٠٤) .

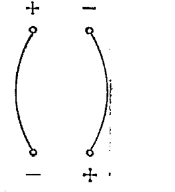
وباستخدام موصلين من النوع المرن بدلا من النوع الصلد ، يحدث تجاذب متبادل بينهما عند مرور تيار بشدة كافية خلالهما (الشكل ١٠٥) .

وعندما يمر التيار عبر الموصلين المتوازيين فى اتجاه يضاد أحدهما الآخر ، تكون خطوط الفيض النموذج المبين بالشكل (١٠٦) . وعندما تمر التيارات الكهربائية عبر الموصلات فى اتجاه يضاد أحدهما الآخر يتنافر الموصلان مع بعضهما البعض .

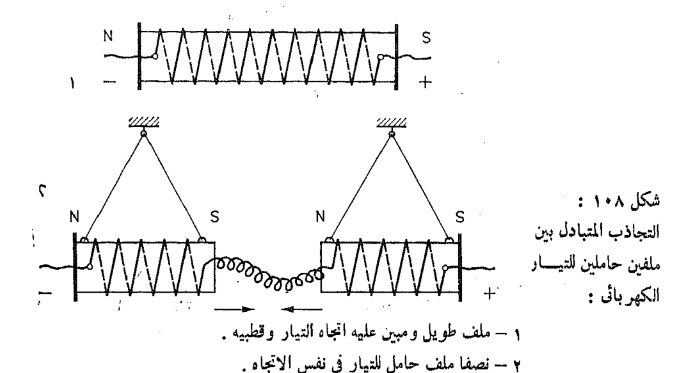
شكل ١٠٥ : تجاذب موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائى .



شكل ١٠٦ : تشكيل للمجال المغنطيسى حول موصلين متوازيين حاملين للتيار فى اتجاهين متضادين .



شكل ١٠٧ : التنافر المتبادل بين موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائى .

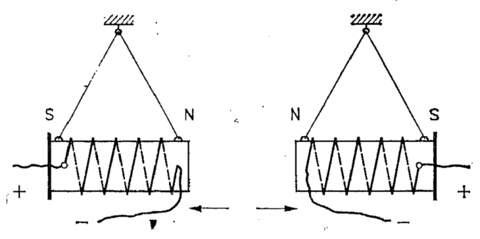


شكل ١٠٨ : التجاذب المتبادل بين ملفين حاملين للتيـــار الكهربائى :

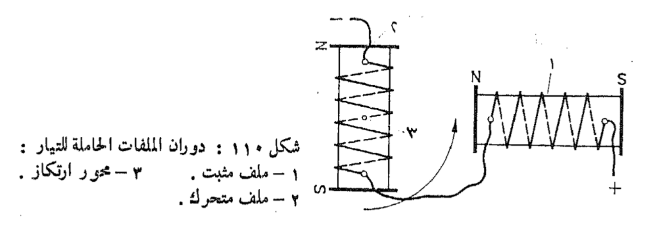
١ – ملف طويل ومبين عليه اتجاه التيار وقطبيه .
٢ – نصفا ملف حامل للتيار فى نفس الاتجاه .

التجاذب والتنافر بين الملفات الحاملة للتيار الكهربائى :

بمقارنة تصرف الملفات الحاملة للتيار الكهربائى بالقضبان المغنطيسية يتضح وجود تشابه بينهما من حيث المجال المغنطيسى والقطبية . ويؤدى هذا إلى حدوث نفس الظاهرة التى تلاحظ عند تقسيم قضبان المغنطيسات ، وذلك عند تقسيم الملفات . وكما سبق ذكره ، فإن تقسيم القضيب المغنطيسى إلى قسمين ينتج عنه مغنطيسين بقطبية عكسية عند مستوى المقطع ، ولذلك فإنهما يتجاذبان بعد التقسيم . وينطبق هذا تماما على الملفات الحاملة للتيار الكهربائى، كما هو مبين بالشكل (١٠٨). وينقسم الملف (١) إلى النصفين المعلقين والموصلين بالطريقة الموضحة فى (٢) . وبإمرار التيار الكهربائى عبر هذه الترتيبة ، يتجاذب الملفان ، ولكنهما يتنافران عند عكس اتجاه التيار فى أحدهما (الشكل ١٠٩) .



شكل ١٠٩ : تنافر متبادل لملفين حاملين لتيارين فى اتجاهين متضادين .



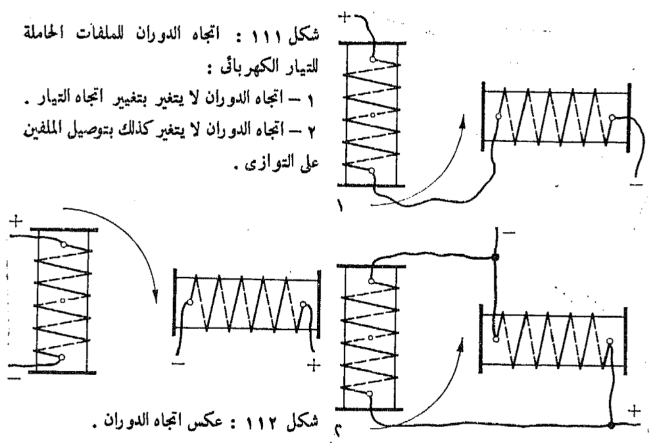
شكل ١١٠ : دوران الملفات الحاملة للتيار :
١ – ملف مثبت . ٣ – محور ارتكاز .
٢ – ملف متحرك .

دوران الملفات الحاملة للتيار :

عندما نضع ملفين حاملين للتيار الكهربائى، بحيث يكون أحدهما مرتكزا بطريقة يكون فيها حر الدوران أمام الآخر ، نجد أن الملف الحر الدوران يتصرف كما هو مبين بالشكل (١١٠) .

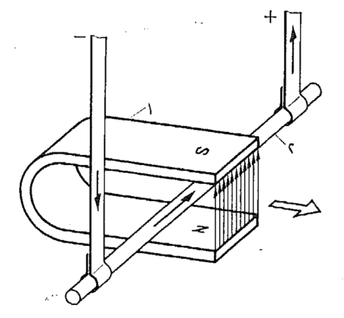
وبإمرار التيار عبر هذه الترتيبة ، يدور الملف القابل للدوران ، حتى يصبح قطبه الجنوبى مقابلا للقطب الشمالى للملف الثابت . ويكون اتجاه اللف لكلا الملفين واحدا . ونحصل على نفس اتجاه الدوران بعكس التيار الكهربائى المار عبر كلا الملفين ، أو بمعنى آخر ، بعكس القطبية (الشكل ١١١ – ١) . ونحصل أيضا على نفس اتجاه الدوران كما فى الحالتين السابقتين بتوصيل الملفين على التوازى كما فى الشكل (١١١ – ٢) .

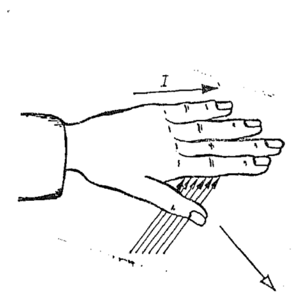
ونحصل على عكس اتجاه الدوران بتوصيل الملفين كما هو مبين بالشكل (١١٢) .



شكل ١١١ : اتجاه الدوران للملفات الحاملة للتيار الكهربائى :
١ – اتجاه الدوران لا يتغير بتغيير اتجاه التيار .
٢ – اتجاه الدوران لا يتغير كذلك بتوصيل الملفين على التوازى .

شكل ١١٢ : عكس اتجاه الدوران .





شكل ١١٣ : موصل حامل للتيار فى المجال المغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان :
١ — مغنطيس حدوة الحصان . ٢ — موصل متحرك .

شكل ١١٤ : توضيح لقاعدة اليد اليسرى .

وتستغل هذه الظاهرة فى آليات الحركة الديناميكية الكهربائية ، حيث يكون انحراف المؤشر المثبت فى الملف المتحرك ، هو قياس للكمية الكهربائية . وسيرد فيما بعد وصف تفصيلى لهذه النبائط .

(د) الملفات والموصلات الحاملة للتيار الكهربائى فى مجال مغنطيسى :

والسؤال الذى يطرح نفسه ، هو كيفية تصرف الموصلات والملفات الحاملة للتيار فى المجالات المغنطيسية التى تنتجها المغنطيسيات الصناعية (المغنطيسات الدائمة) .

الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى فى مجال مغنطيسى :

يبين الشكل (١١٣) موصلا حاملا للتيار فى مجال مغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان .

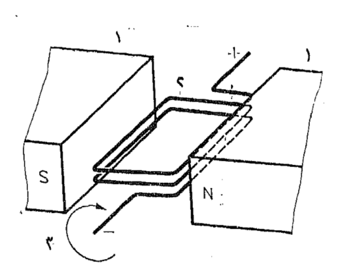
عندما يحمل الموصل التيار ، فإنه يدفع خارج المجال المغنطيسى (ينحرف) . ولإيضاح ذلك ، يعلق الموصل بشريحتى توصيل . ويلاحظ أن هناك علاقة متبادلة بين اتجاه التيار ، ووضع المجال المغنطيسى ، واتجاه الانحراف ، وذلك عند إمرار تيار ذى شدة كافية عبر الترتيبة . ويعبر عن هذه العلاقة بالطريقة التالية المعروفة بقاعدة اليد اليسرى :

إذا كانت خطوط الفيض المغنطيسى تخترق راحة اليد ، بينما تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار الكهربائى ، فإن الإبهام الممتد يشير إلى اتجاه الانحراف .

الملف الحامل للتيار فى مجال مغنطيسى :

يبين الشكل (١١٥) ملفا حاملا للتيار فى مجال مغنطيسى على هيئة حدوة الحصان .

يدور الملف عندما يمر عبره تيار كهربائى بشدة كافية . ويمكن معرفة اتجاه الدوران بمساعدة قاعدة اليد اليسرى .



شكل ١١٥ : ملف حامل للتيار فى مجال بين قطبى مغنطيس .
١ – قطبا مغنطيس. ٣ – اتجاه الدوران.
٢ – ملف مثبت على محور ارتكاز .

وهذه الظاهرة المغنطيسية الكهربائية هى الأساس لعدد من أجهزة القياس الكهربائية والمحركات الكهربائية التى ستناقش فى أقسام مستقلة من الكتاب .

٩/٤ – كميات لتحديد قيمة المجالات المغنطيسية :

(ا) الموصلية المغنطيسية – النفاذية :

عندما نضع مغنطيسا صغيرا فى مجال مغنطيسى يحدث تأثير ديناميكى يجذب أو يبعد هـذا المغنطيس ، ويعتمد ذلك على وضع المغنطيس بالنسبة للمجال المغنطيسى . ويمكن قياس مثل هذا التأثير الديناميكى على سبيل المثال بواسطة ميزان زنبركى .

ويمكن لمجالين مغنطيسيين لهما نفس المدى أن يحدثا تأثيرين ديناميكيين مختلفين على مغنطيس صغير جدا . وهناك عدة أسباب لهذه الظاهرة نشرحها فيما يلى :

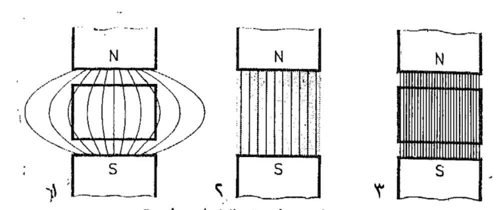
يكون للمجال المغنطيسى الذى يحدث قوة أكبر على مغنطيس ، خطوط مغنطيسية للفيض « كثافتها أعلى » من المجال الآخر الذى له نفس المدى والذى يحدث قوة أقل على هذا المغنطيس . وتعتمد كثافة خطوط المجال المغنطيسى على نوع المادة التى يحدث فيها هذا المجال . وتسمى خاصية المادة التى تؤثر على كثافة خطوط المجال المغنطيسى « الموصلية المغنطيسية » أو « النفاذية » ويرمز لهذه الكمية بالرمز μ (ميو) .

(ب) المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

النفاذية لمادة ما هى عدد يعبر عن انحراف الموصلية المغنطيسية لهذه المادة عن تلك الخاصة بالهواء ($\mu = ١$) .

فالمواد التى تؤثر على المجال المغنطيسى فتقلل كثافة خطوط المجال المغنطيسى (مثل البزموث والنحاس الأحمر والانتيمون والذهب) تسمى « مواد ديا مغنطيسية » ونفاذيتها μ = ١ .

وأما المواد التى تؤثر على المجال المغنطيسى فتزيد من كثافة خطوط المجال المغنطيسى (مثل



شكل ١١٦ : المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

١ – تشكيل للمجال المغنطيسى فى وسط دايا مغنطيسى .

٢ – تشكيل للمجال المغنطيسى فى الهواء كوسط .

٣ – تشكيل للمجال المغنطيسى فى وسط بارا مغنطيسى .

الألومنيوم والبلاتين وفى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة (الحديد والصلب والكوبلت والنيكل) ، فتسمى « مواد بارا مغنطيسية » ونفاذيتها μ > ١ (الشكل ١١٦) .

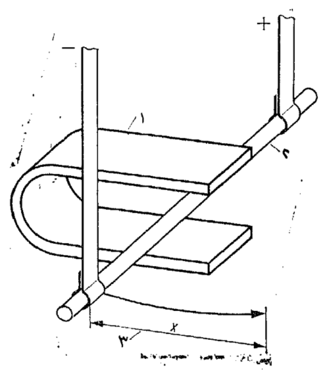
(حـ) الحث المغنطيسى :

الكثافة الكلية لجميع خطوط المجال المغنطيسى تسمى كثافة الفيض المغنطيسى. وهناك علاقة بين الحث المغنطيسى والوحدة الميكانيكية للقوة (ق) وشدة التيار الكهربائى (ت) ، وتوضح هذه العلاقة بالاختبار التالى : يبين الشكل (١١٧) موصلا من نوع القضيب ، معلقا حرا فى المجال المغنطيسى لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان . وعند إمرار تيار كهربائى (ت) عبر هذا الموصل ، فانه ينحرف بعيدا عن المجال المغنطيسى . والقوة (ق) التى تؤثر على الموصل تميز بطول هذا الانحراف (س) . وعلى هذا فإن :

ق α س

ويقل الانحراف عند تخفيض شدة التيار المار عبر الموصل ، ويزيد هذا الانحراف بازدياد شدة التيار . وعليه يتضح أن القوة (ق) تتناسب طرديا مع شدة التيار (ت) .أى أن :

ق α ت



شكل ١١٧ : الحث المغنطيسى :

١ – مغنطيس على هيئة حدوة الحصان .

٢ – موصل قابل للحركة .

٣ – انحراف (س) نتيجة إمرار التيار .

وبترتيب عدة مغنطيسات على هيئة حدوة الحصان جنبا إلى جنب ، ووضع موصل من نوع القضيب فى هذه الترتيبة بنفس الكمية السابقة ، يزداد الانحراف كذلك عندما يمر التيار الكهربائى عبر هذه الترتيبة عليه :

$$ق \; \alpha \; ل$$

حيث ل طول الموصل .

وباستعمال مغنطيس على هيئة حدوة الحصان بشدة مجال أقل ، فإن الانحراف الناتج يكون أصغر ، وذلك بإمرار نفس شدة التيار (ت) ، ويكون للموصل نفس الطول كما فى الترتيبة السابقة .

وإذا كانت شدة المجال المغنطيسى المستعمل فى هذه التجربة أعلى ، فإن الانحراف الناتج (س) ، يزداد تحت نفس الظروف بالنسبة لشدة التيار وطول الموصل (ت ، ل) كما فى التجربة السابقة .

وبإدخال شدة المجال المغنطيسى فى هذه العلاقة : ق α ت × ل نحصل على هذه الصيغة :

ق = $ف_م$ × ت × ل حيث $ف_م$ (B) هو الحث المغنطيسى. وبحل هذه الصيغة لإيجاد $ف_م$ ينتج :

$$(ف_م) = \frac{ق}{ت \times ل}$$

ونحصل على الوحدة التالية ، إذا عبر عن (ق) بالنيوتن ، وشدة التيار (ت) بالأمبير (مب) والطول ل بالمتر (م) .

$$ف_م = \frac{نيوتن}{مب \times م}$$

ولا تلائم هذه الوحدة المعادلات اللازمة لإيجاد قيم المجال المغنطيسى . وقد اشتقت وحدة أخرى من العلاقة بين الشغل الميكانيكى والكهربائى ، كما هو معروف فى نظام الوحدات المستخدمة هنا أى أن :

واط . ثانية = نيوتن . متر

ومن ذلك نحصل على وحدة الحث المغنطيسى $ف_م$

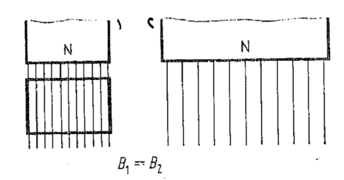
فل . مب . ث = نيوتن . م

وبقسمة الصيغة على مب .

$$فل . ث = \frac{نيوتن \times م}{مب}$$

وبقسمة الصيغة على $م^2$.

$$\frac{فل . ث}{م^2} = \frac{نيوتن}{مب \times م}$$



شكل ١١٨ : إيضاح الفيض المغنطيسى :
١ – عدد كبير من خطوط المجال المغنطيسى في وحدة المساحة .
٢ – عدد أصغر من خطوط المجال المغنطيسى في وحدة المساحة.

$$\frac{\text{فلط} \times \text{ثانية}}{\text{متر مربع}} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{أمبير} \times \text{متر}}$$

$ف_م$ (B) لها نفس القيمة فى كلتا الحالتين :

وتكتب أيضا الوحدة ($\frac{\text{فل . ث}}{م^٢}$) للحث المغنطيسى $ف_م$ $\frac{\text{وبر}}{م^٢}$ لأنه يطلق على « فلط . ثانية » المصطلح « وبر » نسبة إلى عالم الطبيعيات وبر (Weber) .

وكثافة المجال المغنطيسى هى الحث المغنطيسى ($ف_م$) ووحدته $\frac{\text{وبر}}{م^٢}$

(د) الفيض المغنطيسى :

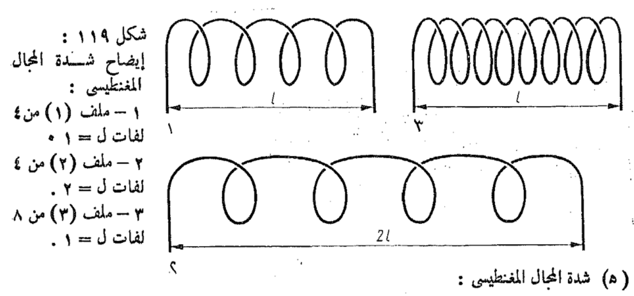
اعتبرنا حتى الآن الحث المغنطيسى بصرف النظر عن الحيز الذى يشغله المجال المغنطيسى . وعموما فإنه ليس لهذا الحيز أهمية كبيرة فى الهندسة الكهربائية ، بل الأهم هو مساحة مسار الفيض والتى تمر خلالها خطوط الفيض المغنطيسى عموديا عليها .

ويوضح الشكل (١١٨) مجالين مغنطيسيين لهما نفس الحث المغنطيسى $ف_م$ للمقارنة .

يستخدم الصلب فى الحيز الذى تمر عبره خطوط المجال فى حالة المجال المغنطيسى الذى حثه $ف_{م١}$ (B_1) ، بينما يستخدم الهواء فى الحيز الذى تمر عبره خطوط المجال المغنطيسى الذى حثه $ف_{م٢}$ (B_2) . ويتضح أن المساحة التى تمر عبرها خطوط الحث فى الحالة الأولى تكون صغيرة نوعا عنها فى الحالة الثانية ، وذلك بالرغم من تساوى الحث المغنطيسى فى كلتا الحالتين . ولتمييز العلاقة بين كثافة الحث المغنطيسى ($ف_م$) والمساحة (ج) التى يمر عبرها هذا الحث ، يطلق على حاصل ضرب هاتين الكميتين (ج × $ف_م$) « الفيض المغنطيسى »، ويرمز لها بالرمز Φ (فاى) ، ومن ذلك يتضح أن :

$$\Phi = ف_م \times ج$$

وحيث أن $ف_م$ يعبر عنها $\frac{\text{فل . ث}}{م^٢}$ أو $\frac{\text{وب}}{م^٢}$ والمساحة (ج) بالمتر المربع . فينتج أن وحدة الفيض المغنطيسى Φ هى الوبر (فل . ث) .



شكل ١١٩ : إيضاح شـدة المجال المغنطيسى :
١ – ملف (١) من ٤ لفات ل = ١ .
٢ – ملف (٢) من ٤ لفات ل = ٢ .
٣ – ملف (٣) من ٨ لفات ل = ١ .

(هـ) شدة المجال المغنطيسى :

يبين الشكل (٩٩) أن المجال المغنطيسى لكل من قضيب مغنطيسى وملف طويل يشبه كل منهما الآخر . ويمكن تحديد الحث المغنطيسى لكل منهما باستخدام أجهزة قياس مناسبة (مثل المغنيطومتر ، وهو جهاز يستخدم لقياس شدة المجال المغنطيسى) . والحث المغنطيسى هو كمية تعطى لإيجاد قيمة المجال المغنطيسى . ويمكن تعريف المجالات المغنطيسية الناتجة عن الملفات الحاملة للتيار بكمية أخرى على أساس العلاقة بين طول الملف وعدد لفيفات هذا الملف وشدة التيار الكهربائى المار عبره.

ويبين الشكل (١١٩) ثلاث ملفات ، قطر لفاتها ومقاس سلكها (مقطعه المستعرض) تعتبر متساوية . وعليه فإنه يميز بينهما بعدد لفاتها (ن) وطول ملفاتها (ل) فقط .

أولا : تمرر تيارات مختلفة الشدة عبر الملف (١) . ويقاس الحث المغنطيسى $\text{ف}_{\text{م}}$ فى كل حالة . وإذا أمررنا تيارا شدته أعلى ، يزداد الحث المغنطيسى كذلك . وعليه فإن :

$$\text{ف}_{\text{م}} \propto \text{ت}$$

وعندما تمرر تيارات لها نفس الشدة عبر الملف (١) أولا ، ثم عبر الملف (٣) ، فيبين تحديد الحث المغنطيسى فى كل حالة أنه يتضاعف بمضاعفة عدد اللفات ، بينما يكون طول الملفين متساويا ، وعليه فان :

$$\text{ف}_{\text{م}} \propto \text{ن}$$

وعندما نمرر تيارا له نفس الشدة ، أولا عبر الملف (١) ، ثم عبر الملف (٢) ، فإن هذه التجربة تبين أن قيمة الحث المغنطيسى فى الملف (٢) الذى طوله ضعف طول الملف (١) ولها نفس عدد اللفات ، تكون نصف قيمة الحث المغنطيسى فى الملف (١) . وهذا يعنى :

$$\text{ف}_{\text{م}} \propto \frac{١}{\text{ل}}$$

وبإدماج هذه النتائج معا فى تعبير واحد نحصل على ما يلى : $\text{ف} \propto \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}}$

ولكن المصطلح $\frac{ت \times ن}{ل}$ هو تعبير نسبى للحث المغنطيسى ، ورمزه هـ (H) ، وعليه تكون شدة المجال المغنطيسى :

$$هـ = \frac{ت \times ن}{ل}$$

ونظرا لأن عدد اللفات ن هو عدد ليس له أبعاد ، تكون وحدة شده المجال المغنطيسى (هـ) $\frac{مب}{م}$!

ويمكن تحديد كثافة المجال المغنطيسى بالحث المغنطيسى ($ف_م$) معبرا عنه ($\frac{وب}{م^2}$) ، أو بشدة المجال المغنطيسى (هـ) معبرا عنها ($\frac{مب}{م}$) . وهاتان الكميتان تتناسبان مع بعضهما البعض .

(و) النفاذية المطلقة للحيز المطلق :

طبقا للشرح السابق ، يمكن كتابة التناسب $ف_م \; \alpha \; \frac{ت \times ن}{ل}$ بالصيغة التالية :

$ف_م$ (B) α هـ (H) .

وللتعبير عن هذه العلاقة بصيغة ، ندخل الثابت μ_0 وقيمته :

$$\mu_0 = 4 \; ط \times 10^{-7} \; \frac{فل . ث}{مب \; م} = 1,256 \times 10^{-6} \; \frac{فل . ث}{مب . م}$$

وتساوى قيمة هذا الثابت « النفاذية المطلقة للحيز الطلق » ويطلق عليها أيضا « ثابت المجال المغنطيسى » .

ومن هذا ينتج أن :

$$ف_م = \mu 0 \; هـ$$

ويعطى الطرف الأيسر من هذه الصيغة الوحدات التالية :

$$\frac{فل . ث}{م . مب} \times \frac{مب}{م} = \frac{فل . ث}{م^2} = \frac{وب}{م^2}$$

وهى نفس وحدة الحث المغنطيسى ($ف_م$) .

(ز) النفاذية النسبية :

ويطلق أيضا على النفاذية μ التى كانت تسمى بالموصلية المغنطيسية « النفاذية المطلقة » . ويعبر عادة عن نفاذية مادة كضاعف للنفاذية المطلقة للحيز المطلق μ_0 ، وعليه فان :

$\mu = \mu_0 \times \mu$ نسبي

حيث μ_0 نسبي هى النفاذية النسبية ، وهى عدد بدون أبعاد ، فمثلا μ نسبي للبزموث هى ٠,٧٩٦

وعليه فان :

$$\mu = ١,٢٥٦ \times ١٠^{-٦} \frac{\text{فل . ث}}{\text{مب . م}} \times ٠,٧٩٦$$

$$= ٠,٩٩٩٨ \times ١٠^{-٦} \frac{\text{فل . ث}}{\text{مب . م}}$$

ويبين ذلك أن التناسب الطردى للحث المغنطيسى وشدة المجال المغنطيسى (الشدة المغنطيسية) ، يمكن التعبير عنه بطريقتين :

$ف_م = \mu_0 \times \mu$ نسبي $\times$ هـ ، أو $ف_م = \mu \times$ هـ

(ح) **تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية :**

من تعريف مفهوم النفاذية ، والحث المغنطيسى ، والفيض المغنطيسى ، والشدة المغنطيسية ، يمكن استخلاص علاقة تشابه قانون أوم فى دائرة التيار المستمر .

نعرف أن :

$\Phi = ف_م \times$ جـ أيضا

حيث جـ = المساحة التى تمر بها خطوط الفيض .

$\Phi = \mu_0 \times \mu$ نسبي $\times$ هـ $\times$ جـ

$= \mu \times$ هـ $\times$ جـ

ويمكن أيضا كتابة ذلك كما يلى :

$$\Phi = \mu \times \frac{ت \times ن}{ل} \times ج$$ وتحلل إلى

$$= \frac{ت \times ن}{ل} : \frac{١}{\mu} \times \frac{١}{ج}$$ وترتب بالصيغة التالية :

$$= \frac{\frac{ت \times ن}{ل}}{\mu \times ج}$$

ويطلق على العلاقة $\frac{ل}{\mu \times ج}$ المقاومة المغنطيسية ($م_م$)

وعليه فان : $م_م = \frac{ل}{\mu \times ج}$

ويمكن أن نعتبر أن $م_م = \frac{ل}{\mu \times ج}$ كما هو الحال فى قانون المقاومة .

ويطلق على العلاقة : (ت × ن) « القوة الدافعة المغنطيسية الابتدائية » أو « الجهد المغنطيسى ».
ويرمز للقوة الدافعة المغنطيسية الابتدائية بالرمز Θ (ثيتا) ، وعليه ينتج أن :

$$\Phi = \frac{\Theta}{م_م}$$

وبالمناظرة مع قانون أوم فى دائرة التيار المستمر نجد :

$$ت = \frac{ج}{م}$$

وللقوة الدافعة المغنطيسية الابتدائية أهمية عملية فى تصنيع المكنات الكهربائية ، حيث نحصل على المجالات المغنطيسية من ملفات يكون عدد لفاتها هو العامل الأساسى المعول عليه . ووحدة القوة الدافعة المغنطيسية هى « الأمبير » . وفى بعض الأحيان تستعمل « أمبير لفة » كوحدة للقوة الدافعة المغنطيسية . ولا يمكن أن يستعمل التعبير « أمبير لفة » رياضيا فى مجموعة الوحدات المستخدمة هنا .

٥/٩ – الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدى :

(ا) المواد المغنطيسية الحديدية :

عند مناقشة الكميات اللازمة لتحديد المجال المغنطيسى ، شرحنا الموصلية المغنطيسية المسماة « نفاذية » . وفى هذا الشأن شرحنا العلاقة $ف = \mu$ هـ . وللاستطراد فى شرح المغنطيسية ، يجب أولا أن نعطى بعض التفاصيل للمواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية . وتكون قيمة μ لعديد من المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية مساوية تقريبا للواحد الصحيح . وعلى أى الأحوال ، هناك مجموعة للمواد البارا مغنطيسية ، تزيد قيمة μ فيها على واحد صحيح (μ >> ١) بدرجة يمكن أخذها فى الاعتبار فى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . ويطلق على هذه المواد « مواد مغنطيسية حديدية » وتشمل الحديد والنيكل والكوبلت وسبائكها ، وسبائك الكروم والمنجنيز .

وتميز المواد المغنطيسية الحديدية عن المواد الأخرى بأن نفاذيتها تعتمد على قيمة الشدة المغنطيسية هـ . وهذا يعنى أن نفاذية المواد المغنطيسية الحديدية تعتمد بدرجة ما على قيمة هـ خلال نطاق معين لهذه القيمة . ويعنى ذلك بالتالى أنه باستخدام المواد المغنطيسية الحديدية كوسط فى المجال المغنطيسى ، فإن الحث المغنطيسى ($ف_م$) سيزداد مقابل زيادة طفيفة فى شدة المجال المغنطيسى (هـ) . وذلك بمعدل أعلى –اعتباريا– من المعدل الذى نحصل عليه فى الهواء كوسط .

(ب) التمغنط ، والتشبع :

لتحديد قيمة الحث المغنطيسى لمجال مغنطيسى نتيجة لتأثير مغنطيسية حديدية ، تمغنط هذه المادة مبتدئين بشدة مجال هـ = صفر . ونرسم القيم $ف_م$ التى نحصل عليها مقابل (هـ) .

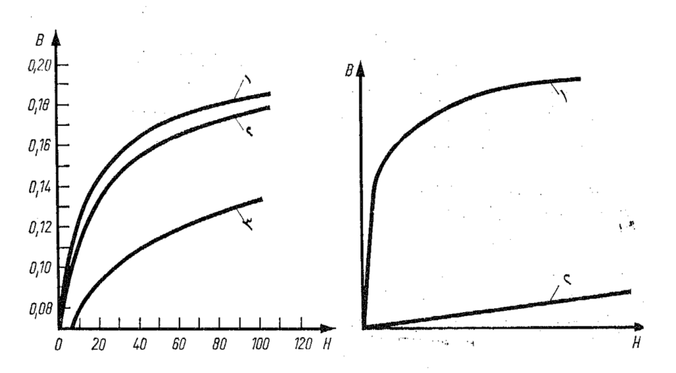
ينتج منحنى مميز للمادة المغنطيسية الحديدية المستعملة . ونحصل على القيم المختلفة (ه) عمليا بزيادة شدة التيار (ت) باستمرار ، بينما يبقى عدد اللفات (ن) والطول (ل) ثابتين ، للملف المستخدم فى التجربة .

ويبين الشكل (١٢٠) منحنى التمغنط لمادة مغنطيسية حديدية . وللمقارنة نرسم قيم الحث المغنطيسى التى نحصل عليها فى حالة استخدام الهواء كوسط .

وإذا وصلنا إلى قيمة معينة لشدة المجال المغنطيسى ، بعدها لا تزيد قيمة الحث المغنطيسى بزيادة شدة المجال ، وقد تكون الزيادة غير ملحوظة باستخدام مادة مغنطيسية حديدية كوسط . ومن هذه النقطة يبقى المنحنى ثابتا ، ويوضح هذا تشبع المغنطيس أو حد التشبع .

ويوضح الشكل (١٢١) منحنيات التمغنط لبضع مواد مغنطيسية حديدية مستخدمة فى الهندسة الكهربائية . ويعبر عن ف بالوحدة (وبر / متر مربع) (وب / م٢) ، ه بالوحدة مب / سم

ويطلق على هذه المنحنيات فى حالة المواد التى لم يسبق تمغنطها « منحنيات بكر » أو « منحنيات أولية » ويوضح ذلك فيما بعد :



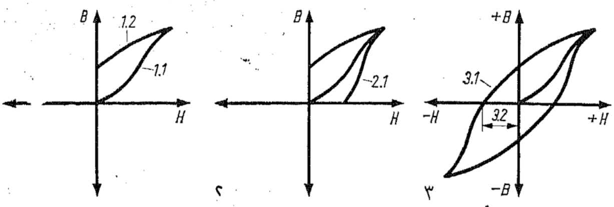
شكل ١٢١ : منحنيات تمغنط :
١ — شريحة دينامو .
٢ — غلاف صلب .
٣ — حديد زهر .

شكل ١٢٠ : منحنى التمغنط لمادةمغنطيسية حديدية :
١ — منحنى لمادة مغنطيسية حديدية .
٢ — المنحنى الذى نحصل عليه باستخدام الهواء كوسط .

(ج) التخلفية :

يوضح الشكل (١٢٢ – ١) طريقة التجربة التالية : تقطع عملية التمغنط عند أى قيمة مناسبة للمنحنى الأولى (١ ، ١) – وتخفض قيمة شدة المجال المغنطيسى (ه) باستمرار بخفض قيمة شدة التيار (ت) وتقاس قيم $ف_م$ فى كل حالة ، ونرسم القيم التى نحصل عليها مقابل قيم (ه) على منحنى بيانى . يأخذ المنحنى مسارا آخر (١ ، ٢) ، أى تساوى الشدة المغنطيسية (ه) صفرا ، عندما يكون الحث المغنطيسى $ف_م$ أعلى من الصفر .

وباستمرار عملية التمغنط ، نحصل على منحنى التمغنط (٢ ، ١) فى الشكل (١٢٢ – ٢) وهذا المنحنى يحيد أيضا عن المنحنى الأولى .



شكل ١٢٢ : تطور أنشوطة التخلفية :

١ – ١,١ – منحنى أولى .
١,٢ – منحنى بعد التمغنط العكسى .
٢ – ١,٢ – منحنى بعد التمغنط مرة ثانية .
أنشوطة التخلفية .
١,٣ – إستبقائية .
٢,٣ – قوة قهرية .

وبعكس اتجاه التيار تبدأ عملية الرجوع للتمغنط ،وتسمى « تمغنط عكسى » ، ونحصل على منحنى يطلق عليه أنشوطة التخلفية . ويسمى تصرف المادة الذى يوضحه منحنى العلاقة (ف – ه) « التخلفية » ، حيث لا ينطبق المنحنى الناشئ عن تخفيض (ه) على ذلك الذى ينشأ بزيادتها ، ويعنى هذا المصطلح « يتخلف عن » . ونجد فى الجزء (٣ ، ١) للمنحنى فى الشكل (١٢٢ – ٣) ، أن قيمة الحث المغنطيسى ($ف_م$) لا تصل إلى الصفر ، إلا إذا وصلت قيمة الشدة المغنطيسية (ه) إلى قيمة معينة فى عكس الاتجاه . ويسمى هذا الجزء من الحث المغنطيسى « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستبقائية » . (الفصل التاسع – البند الأول)،ويطلق على الشدة المغنطيسية (ه) اللازمة لإزالة الاستبقائية « القوة القهرية » .

ويميز فى الهندسة الكهربائية بين المواد الصلدة والمواد الطرية مغنطيسيا . ويلزم المواد الصلدة مغنطيسيا قوة قهرية أكبر لإزالة الاستبقائية ، بينما تحتاج المواد الطرية مغنطيسيا إلى قوة قهرية

أصغر . وتبعا لذلك تكون أنشوطة التخلفية للمواد المغنطيسية الصلدة ، أوسع اعتباريا من تلك الخاصة بالمواد المغنطيسية الطرية .

(د) المغنطيسات الكهربائية :

تستخدم ملفات لها قلوب من مواد مغنطيسية حديدية كمغنطيسات كهربائية ، على هيئة مغنطيسات رفع ، كما فى المغنطيسات المستعملة فى المرحلات والملامسات والقوابض المغنطيسية والصامات المغنطيسية ، وهذا على سبيل المثال لا الحصر . ويصعب تحديد القوة الناتجة عن المغنطيس بدقة كافية .

وعموما ، تستخدم فى الحياة العملية طرق حسابية تعطى قيما تقريبية ، ولكنها تضمن النتائج المرضية للغرض المطلوب . وفيما يلى مثالان :

مثال ١ :

مطلوب إيجاد القوة المغنطيسية اللازمة للوحة تثبيت المشغولات فى مكنة تشغيل . أبعاد اللوحة هى ٢٠٠ × ٣٠٠ م . والحث المغنطيسى للمغنطيس الكهربائى المستخدم هو ٠٫١٨ $\frac{وب}{م^٢}$

ما هى القوة المسلطة على الشغلة ؟

لتحديد هذه القوة لأقرب قيمة ، تستعمل الصيغة :

$$ق = \frac{ف_م^٢ \times جـ}{٠٫٢٥}$$

حيث جـ هى المساحة بالسم^٢

معطيات : $ف_م = ٠٫١٨ \frac{وب}{م^٢}$

جـ = الطول × العرض

= ٠٫٢٠ × ٠٫٣٠ = ٦٠٠ سم^٢

المطلوب : ق بالكيلو بوند (كب)

الحل :

$$ق = \frac{(٠٫١٨)^٢ \times ٦٠٠}{٠٫٢٥}$$

ف = ٧٨ كيلو بوند

القوة الفعالة على الشغلة قدرها حوالى ٧٨ كيلو بوند

مثال ٢ :

وتجذب أعضاء الإنتاج إلى المرحلات المستخدمة فى هندسة المواصلات عند ١٠٠ ت × ن (أمبير لفة) عندما تحمل هذه المرحلات بتلامس تشغيل . إذا كان المطلوب جذب هذا المرحل عند جهد ج = ٢٤ فلط ومقاومة م = ١٠٠٠ Ω ، يمكن حساب عدد اللفات لهذا المرحل بالكيفية التالية :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٤ \text{ فلط}}{١٠٠٠ \ \Omega} ، ت = ٠٫٠٢٤ \text{ أمبير}$$

من ذلك يمكن حساب عدد اللفات من

$$ن = \frac{١٠٠ \text{ أمبير لفة}}{٠٫٠٢٤ \text{ أمبير}} ، ن = ٤١٦٧ \text{ لفة}$$

ويجب إيجاد قيمة طول السلك طبقا لمقاس وشكل الملف ، مع أخذ المقاومة م = ١٠٠٠Ω فى الاعتبار .

ويمكن بعد ذلك إيجاد قيمة مقطع السلك .

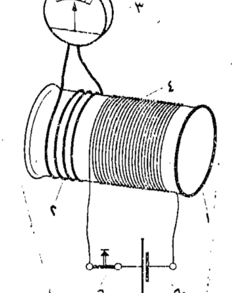
الفصل العاشر
الحث المغنطيسى الكهربائى

١٠/١ – اختبار فاراداى :

أدت أبحاث فاراداى (١٧٩١ – ١٨٦٧) إلى الاستخدام العالمى الواسع النطاق للكهرباء كطاقة نافعة للغاية يمكن توزيعها وتحويلها إلى أشكال أخرى منها بطرق بسيطة نسبيا دون أى فقد فى الزمن عمليا .

بنى فاراداى دراساته لظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى ، على أساس أنه بالنسبة للشحنات الكهربائية المتحركة ، يمكن الحصول على ظاهرة مناظرة لظاهرة الحث الإستاتيكى ، حيث أمكن فصل الشحنات الكهربائية الإستاتيكية بعضها عن بعض ، وذلك بتقريب جسم مشحون إلى آخر غير مشحون .

يبين الشكل (١٢٣) الاختبار الذى أجراه فاراداى . تلف لفيفتان منفصلتان كهربائيا ، جنبا إلى جنب على اسطوانة مجوفة من ورق الكرتون . تتكون إحدى هاتين اللفيفتين من بضع لفات من سلك سميك ، يوصل طرفاه بجهاز قياس مزود بمؤشر يسمح له بالانحراف على تدريج تجاه أى جانب من جوانبه . وتتكون اللفيفة الثانية من عدة لفات من سلك رفيع يكون جزءاً من دائرة كهربائية تشتمل على مصدر للجهد ، ومفتاح كهربائى بذراع .



شكل ١٢٣ :

١ – اسطوانة مجوفة .
٢ – ملف عليه عدد من اللفات .
٣ – جهاز قياس .
٤ – ملف عليه عدد كبير من اللفات .
٥ – مصدر للجهد .
٦ – مفتاح كهربائى بذراع (قاطع) .

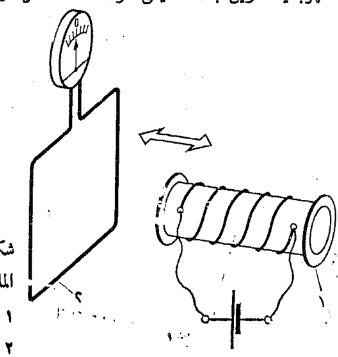
وبهذا الشكل ، تشتمل ترتيبة الاختبار هذه على دائرتين ، تحمل إحداهما تيارا يمر بصفة مستمرة فيها ، بينما لاتحمل الأخرى تيارا . فعند فصل الدائرة الكهربائية بتشغيل المفتاح الكهربائى، ينحرف مؤشر جهاز القياس ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وعند قفل الدائرة الكهربائية ينحرف مؤشر جهاز القياس فى اتجاه عكسى لاتجاه انحرافه فى الحالة الأولى ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وتعرف هذه الظاهرة كما يلى :

عند فصل أو قفل دائرة كهربائية ، يمر تيار كهربائى لوقت قصير ، خلال دائرة كهربائية مقفلة موضوعة بجوار الدائرة الكهربائية الأولى ، ويسمى هذا التيار « التيار المنتج بالحث » .

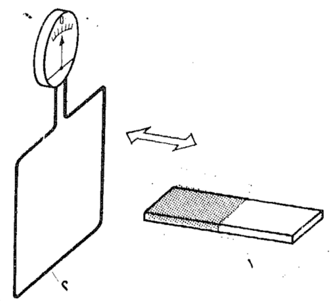
١٠|٢ – أشكال الحث المغنطيسى الكهربائى :

يبين الاختبار التالى ، المبين بالشكل (١٢٤) دراسة أكثر عمقا للحث المغنطيسى الكهربائى . فإذا عدلت ترتيبة الاختبار المبينة بالشكل (١٢٣) ، بحيث يوصل الملف مباشرة بمصدر الجهد (بإخراج المفتاح الكهربائى من الدائرة الكهربائية)، مع ترتيب كلا الملفين بحيث يكونان قابلين للحركة، يمكن ملاحظة الظاهرة التالية : عند تقريب ملف للآخر (يمكن تحريك أى من الملفين) ، ينحرف مؤشر جهاز القياس . وعند إبعاد الملفين عن بعضهما البعض ، ينحرف مؤشر جهاز القياس فى اتجاه عكسى لانحرافه فى الحالة الأولى ، وهذا يبين أنه ليس هناك حاجة إلى فصل أو قفل دائرة كهربائية لإنتاج تيار بالحث فى دائرة كهربائية أخرى .

ولذلك تعرضت هذه الظاهرة لدراسات أكثر عمقا ، تستهدف بحث سبب حدوث نفس التأثير كما هو الحال فى الاختبار الأول ، وذلك بتحريك الملفين بالنسبة لبعضهما البعض . وقطع الدائرة الكهربائية ليس هو السبب الوحيد لإنتاج تيار بالحث ، وإنما يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تكوين مجال مغنطيسى حول الملف الحامل للتيار الكهربائى يؤدى إلى إنتاج تيار بالحث .



شكل ١٢٤ : الحث المغنطيسى الكهربائى فى الملفات القابلة للحركة .
١ – ملف بمصدر للجهد (ملف ابتدائى) .
٢ – ملف بجهاز قياس (ملف ثانوى) .



شكل ١٢٥ : الحث المغنطيسى الكهربائى الناتج بواسطة قضيب مغنطيسى
١ – قضيب مغنطيسى .
٢ – ملف بجهاز قياس .

وفى الاختبار الأول ، يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تلاشى المجال المغنطيسى ، بينما يصاحب قفل الدائرة الكهربائية تكوين للمجال المغنطيسى . وفى هذا التفسير الأخير ، يؤثر قفل وفصل الدائرة الكهربائية فى تغيير الفيض المغنطيسى من قيمة الصفر إلى قيمة الذروة ، ثم رجوعا إلى قيمة الصفر . يمكن تفسير الحث المغنطيسى الكهربائى الناتج فى الاختبار الثانى على هذه الأسس . فنتيجة لحركة الملفات تجاه بعضها البعض ، وبعيدا عن بعضها البعض ، يتغير الفيض المغنطيسى بحيث تمر خطوط فيض أكثر عبر الملف الثانوى (الملف الموصل بجهاز القياس) فى الوهلة الأولى ؛ بينما تمر خطوط فيض أقل فى الوهلة الثانية .

وعلى أساس هذه الاعتبارات ، أجريت أبحاث لمعرفة ما إذا كان تغير الفيض المغنطيسى لمغنطيس على هيئة قضيب ، يمكن أن يحدث نفس التأثير فى الملف التأثيرى ، الشكل (١٢٥) .

وفى الحقيقة ، تنتج الحركة النسبية بين قضيب المغنطيس والملف تيارا بالحث فى هذا الملف .

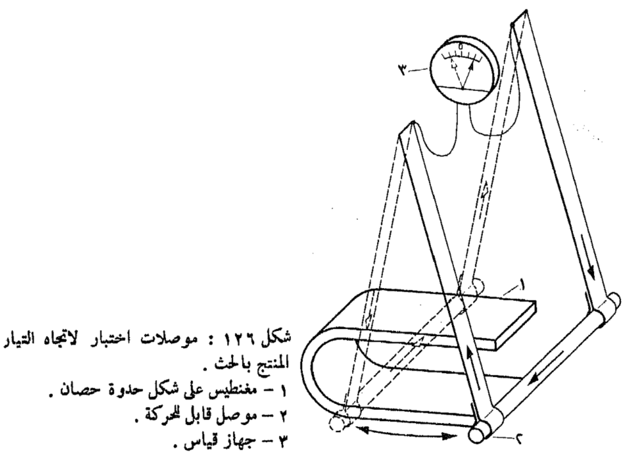
١٠ /٣ – قواعد وقوانين الحث المغنطيسى الكهربائى :

شرحنا فيما سبق ظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى . وفيما يلى نتناول بعض العلاقات المتبادلة بين التأثيرات المغنطيسية والكهربائية والميكانيكية للحث المغنطيسى الكهربائى .

(١) اتجاه التيار المنتج بالحث فى الموصلات والملفات :

يبين الشكل (١٢٦) مثالا لترتيبة اختبار مشابهة لترتيبات الاختبار المبينة فى الشكل (١١٣) والشكل (١١٧) ، فيما عدا أن تلك الترتيبة موصل بها جهاز قياس ينحرف مؤشره تجاه أى جانب من جانبى التدريج ، وذلك بدلا من مصدر الجهد .

يتبين من الشكل (١٢٦) ، أن اتجاه التيار المنتج بالحث يتغير ، معتمداً على وضع الموصل بالنسبة لمجال حدوة الحصان المغنطيسى . فعند تحريك الموصل إلى داخل فتحة حدوة الحصان المغنطيسى ،



شكل ١٢٦ : موصلات اختبار لاتجاه التيار المنتج بالحث .
١ – مغنطيس على شكل حدوة حصان .
٢ – موصل قابل للحركة .
٣ – جهاز قياس .

يكون انحراف مؤشر جهاز القياس فى اتجاه عكس اتجاهه عند سحب الموصل إلى خارج فتحة حدوة الحصان المغنطيسى . ويتضح من ذلك وجود علاقة بين اتجاه خطوط فيض المجال المغنطيسى ، واتجاه حركة الموصل (أو حركة المغنطيس) ، واتجاه التيار المنتج بالحث .

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة كما يلى :

عند اختراق خطوط الفيض لراحة اليد اليمنى ، تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار المنتج بالحث ، بينما يبين إصبع الإبهام الممتد اتجاه الحركة ، الشكل (١٢٧) .

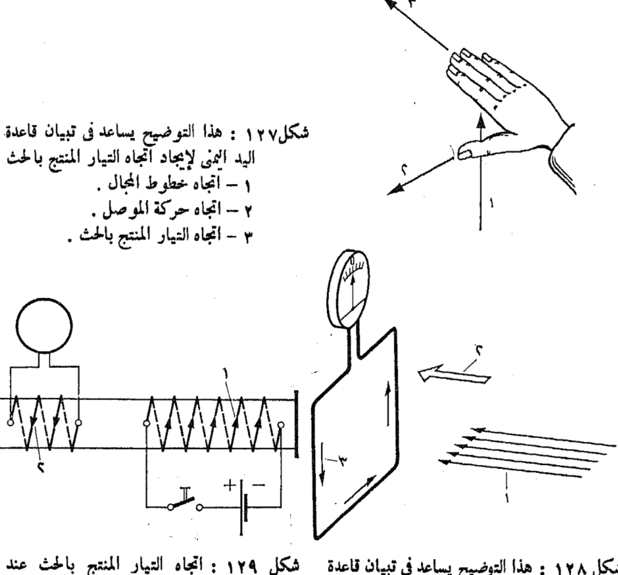
ويمكن بكيفية مشابهة تحديد اتجاه التيار المنتج بالحث فى الملفات لهذا الغرض (انظر الشكل ١٢٥) ، وبأخذ حالة حركة قضيب مغنطيسى كمثال مبسط ، نجد أنه بتحريك قضيب المغنطيس تجاه الملف ، يكون اتجاه التيار المنتج فى الملف ،عكس اتجاه التيار عند سحب قضيب المغنطيس بعيداً عن الملف .

من هذا يستنتج ما يسمى بقاعدة عقرب الساعة (الشكل ١٢٨) :

عند النظر إلى فتحة الملف فى اتجاه خطوط الفيض ، يكون سريان التيار المنتج بالحث فى اتجاه عكس عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أكثر على الملف ، بينما يكون سريانه فى اتجاه عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أقل على الملف .

ويمكن أيضاً إيجاد التيار المنتج بالحث فى دائرة كهربائية إبتدائية ، عنـد قفلها أو فصلها ، الشكل (١٢٣) .

وعند الأخذ فى الاعتبار قطبية ملف (سبق تعيينها بالطريقة المبينة بالشكل ١٠٠) ، فإنه يمكن إيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث بسهولة ، حيث أن قفل الدائرة الكهربائية يصاحبه زيادة فى التيار ، ثم ازدياد فى شدة الفيض المغنطيسى . وفى هذه الحالة يكون اتجاه التيار المنتج بالحث عكس اتجاه التيار الابتدائى .



شكل ١٢٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبيان قاعدة اليد اليمنى لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث
١ — اتجاه خطوط المجال .
٢ — اتجاه حركة الموصل .
٣ — اتجاه التيار المنتج بالحث .

شكل ١٢٨ : هذا التوضيح يساعد فى تبيان قاعدة عقارب الساعة لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث
١ — اتجاه خطوط المجال .
٢ — اتجاه الحركة .
٣ — اتجاه التيار المنتج بالحث .

شكل ١٢٩ : اتجاه التيار المنتج بالحث عند قفل الدائرة الكهربائية الابتدائية .
١ — اتجاه التيار فى الملف الابتدائى
٢ — اتجاه التيار المنتج بالحث فى الملف الثانوى .

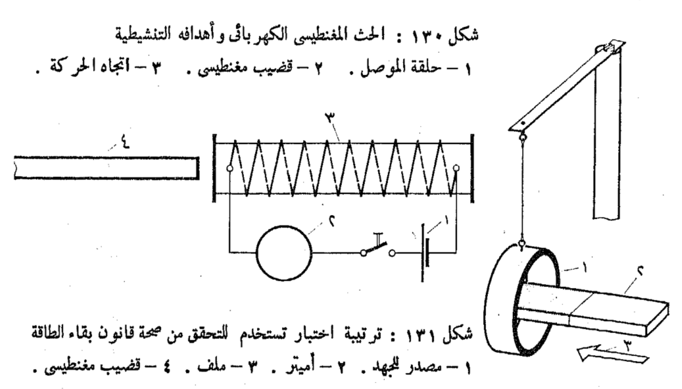
(ب) الحث المغنطيسى الكهربائى من الوجهة التنشيطية :

عند مناقشة تأثيرات التيار الكهربائى (انظر القسم الأول ، الفصل الأول) ، أعطينا بعض الملاحظات على نظرية بقاء الطاقة . وهنا نود أن نشير إلى العلاقة بين الحث المغنطيسى الكهربائى وبقاء الطاقة . ولتبيان هذه العلاقة تعطى الأمثلة التالية :

عند تعليق حلقة مقفلة من موصل (مصنوعة من سلك نحاس) ، بحيث تكون حرة الحركة ، ينتج فيها تيار بالحث إذا تحرك قضيب مغنطيسى بطريقة مناسبة للحلقة . وللظاهرة الآتية اهتمام خاص : عند تحريك قضيب المغنطيس إلى داخل حلقة الموصل ، تتحرك أيضاً الحلقة فى اتجاه حركة قضيب المغنطيس ، وعند سحب قضيب المغنطيس من داخل الحلقة ، تتبع الحلقة أيضاً حركة قضيب المغنطيس (الشكل ١٣٠) .

ويتضح من هذا أن مثل هذا المجال المغنطيسى ، المميز باتجاه التيار المنتج بالحث ، والذى يضاد التغير فى الفيض المغنطيسى ، المميز بحركة قضيب المغنطيس ، ينتج فى نطاق حلقة الموصل .

ويمكن افتراض أن الحركة المتتابعة لحلقة الموصل تكتب حركة قضيب المغنطيس (عندما تتحرك الحلقة وقضيب المغنطيس فى نفس الاتجاه ، يكون معدل حركة المغنطيس بالنسبة للحلقة أقل منها عندما تكون الحلقة مثبتة) . وفى مثل هذه الترتيبة ، إذا ظهر رد الفعل المعكوس على التغير فى الفيض المغنطيسى ، أى إذا أدى المجال المغنطيسى للتيار المنتج بالحث إلى تغير فى الفيض المغنطيسى لقضيب المغنطيس ، فيمكن توليد أى كمية من الطاقة الكهربائية بواسطة كمية مبدئية صغيرة منها . وهذا لا يطابق قانون بقاء الطاقة . والشكل (١٣١) يبين ترتيبة اختبار أخرى تعطى البرهان على صحة قانون بقاء الطاقة ، وفى هذا الاختبار تقاس شدة التيار فى وجود الحث المغنطيسى .



شكل ١٣٠ : الحث المغنطيسى الكهربائى وأهدافه التنشيطية
١ — حلقة الموصل . ٢ — قضيب مغنطيسى . ٣ — اتجاه الحركة .

شكل ١٣١ : ترتيبة اختبار تستخدم للتحقق من صحة قانون بقاء الطاقة
١ — مصدر للجهد . ٢ — أميتر . ٣ — ملف . ٤ — قضيب مغنطيسى .

يوضع قضيب مغنطيس أمام ملف ، بحيث يسحب المغنطيس إلى داخل الملف وذلك بتأثير القطب المواجه للملف ، وبفرض أن المسافة بين الملف وبين القضيب تكون صغيرة بقدر كاف ، تخيل الآتى :

بعد وقت معين يفرغ مصدر الجهد ، ويعتمد هذا التفريغ إلى حد كبير على قيمة مقاومة الملف الذى تتحول فيه الطاقة الكهربائية ت^{٢} × م × ز إلى حرارة . وعند تقريب المغنطيس للملف ، فإنه يصل إلى مسافة يجذب منها ، ويسحب إلى داخل الملف . ومن المؤكد تماماً فى هذه الحالة ، أن هناك شغلا قد بذل مع التجاذب . فأين بذل هذا الشغل ؟

فى الطبيعة وفى المفهوم المادى ، لا يبذل الشغل دون مكافئ . ومن هذا ينتج أنه فى اللحظة التى يسحب فيها المغنطيس إلى داخل الملف ، تخفض الكمية الإجمالية للطاقة المحولة إلى حرارة بما يساوى هذا الشغل ، ويجب ملاحظة أن مقاومة الملف م ، تبقى ثابتة بحيث يمكن تغيير شدة التيار فقط . وعليه ، فيفترض أنه عند لحظة التجاذب ، تخفض شدة التيار المار عبر الملف ، لكى تتحول كمية أقل من الطاقة إلى حرارة . وفى الواقع ، ينتج المغنطيس جهداً بالحث فى الملف أثناء سحبه إلى داخله ، ويضاد التيار المنتج بالحث ، التيار الابتدائى فى الملف مسبباً كبته ، وبالتالى خفضه ، وذلك نتيجة لعكس اتجاه السريان . ويمكن التأكد من ذلك بقراءة الأميتر فى اللحظة التى يجذب فيها الملف المغنطيس .

ولقد درس عالم الطبيعيات الروسى لينز Lenz (١٨٠٤ – ١٨٦٥) العلاقات بين الحث المغنطيسى الكهربائى وبقاء الطاقة : ويمكن تعريف هذه العلاقة كما يلى :

يضاد اتجاه التيار المنتج بالحث دائماً الحركة أو الفيض المغنطيسى المتغير المتولد عنه .

١٠/٤ – العلاقات بين المغنطيسية والكميات المنتجة بالحث :

من الترتيبة المبينة فى الشكل (١٢٦) يمكن استنتاج الآتى :

عند تحريك الموصل فى اتجاه خطوط الفيض ، لا ينتج تيار الحث . بينما ينتج أعلى تيار بالحث عندما يعمل الموصل زاوية مقدارها ٩٠° مع خطوط الفيض ، ويتحرك فى نطاق المجال بهذا الوضع .

وإذا تحرك الموصل بسرعات مختلفة فى نطاق المجال المغنطيسى ، يزداد التيار المنتج بالحث بزيادة السرعة .

وبالنسبة لحركة موصل فى نطاق مجالين مغنطيسيين مختلفى الشدة ، ينتج بالحث تيار ذو شدة عالية ، عند تحريك الموصل فى نطاق المجال المغنطيسى ذى الشدة الأعلى .

عند تعريف فكرة الفلطية أو الجهد الكهربائى (الفصل الثالث) ، ذكرنا أن الفلطية تشبه قوة دفع ، تحرك الإلكترونات . ويطبق هذا بالمثل بالنسبة للحث المغنطيسى الكهربائى ، حيث تزود الإلكترونات الحرة الحركة فى الموصل بقوة دافعة تسبب حركتها . ولقد أوجز فارادای هذه الظاهرة فى قانون الحث كما يلى :

تنتج بالحث قدرة دافعة كهربائية ابتدائية فى موصل ، بتغير الفيض المغنطيسى المحيط به . وهنا يعطى تعريف أكثر دقة للفيض المغنطيسى المذكور فى القسم الأول ، الفصل الرابع وهو :

تكون قيمة شدة الفيض المغنطيسى مساوية وبر واحد ، إذا أنتج بالحث جهدا قيمته فلط واحد فى لفيفة حوله ، ويتناقص هذا الجهد بانتظام إلى قيمة الصفر ، وذلك خلال زمن قدره ثانية واحدة ،

وعندما نرمز للقوة الدافعة الكهربائية الابتدائية المنتجة بالحث بالرمز $ج_1$ ، يمكن وضع العلاقة التالية :

فى فترة صغيرة من الزمن Δ ز (دلتا ز) ، ينتج التغير $\Delta \Phi$ فى الفيض المغنطيسى المحيط بلفيفة ، قوة دافعة كهربائية $ج_1$ فيها ، وعليه :

$$ج_1 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز}$$

ولعدة لفيفات محاطة بفيض مغنطيسى Φ ، تطبق العلاقة التالية :

$$ج_1 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز} \times ن$$

حيث ن هى عدد اللفيفات .

ومن هذا يمكن استنتاج علاقة أخرى تربط بين الحث المغنطيسى $ف_م$ ، وطول الموصل الفعال (ل) والسرعة (ع) ، وهى :

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta ز} = ف_م \times ل \times ع$$

يعنى هذا أن القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث تساوى حاصل ضرب الحث المغنطيسى وطول الموصل والسرعة التى يتحرك بها الموصل فى المجال المغنطيسى . وعلى هذا ، فمن العلاقتين السابقتين نحصل على العلاقة التالية :

$$ج_1 = ف_م \times ل \times ع$$

مثال :

إذا كان الطول الفعال لموصل هوائى لطائرة نفاثة هو ٣٠ متر . وكانت الطائرة تتحرك عمودياً على خطوط الفيض للمجال المغنطيسى للأرض الذى حثه المغنطيسى $ف_م$ = ١,٤ × ١٠$^{-٥}$ $\frac{فل\ ث}{م^٢}$ ، وبسرعة ١,٠٨٠ كيلومتر/ساعة ، فما القوة الدافعة الكهربائية $ج_1$ المنتجة بالحث فى هذا الهوائى ؟ (الشكل ١٣٢)

المعطيات : $ف_م$ = ١,٤ × ١٠$^{-٥}$ $\frac{فل\ ث}{م^٢}$

ل = ٣٠ متر

ع = ١٫٠٨٠ كيلومتر/ساعة
ع = ٣٠٠ متر فى الثانية

المطلوب : $ج_1$

الحـــل :

$ج_1$ = ف × ل × ع

= ١٫٤ × ١٠$^{-٥}$ × ٣٠ × ٣٠٠

= ٠٫٣٦ فلط = ٣٦٠ ملى فلط

القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث فى الهوائى هى ٣٦٠ ملى فلط .

وإذا كان الموصل مكونا من عدة لفات ، تستخدم العلاقة التالية :

$ج_1$ = $ف_م$ × ل × ع × ن

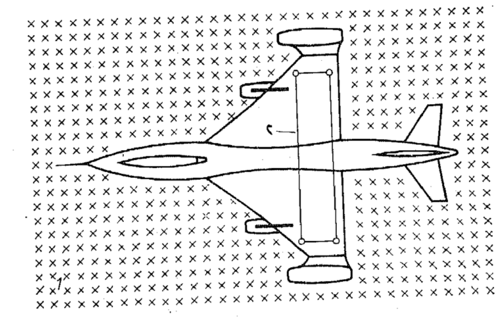
مثال :

لمولد تيار مستمر قطبان مغنطيسيان بطول ٢٥ سم وبعرض ٣٠ سم ، والحث المغنطيسى للمجال المغنطيسى لهذين القطبين هو ١٫٢ $\frac{فل\ ث}{م^٢}$. يعمل فى هذا المجال عضو إنتاج له ١٠٠ لفة بسرعة ٩٦٠ دورة فى الدقيقة . ما القوة الدافعة الكهربائية $ج_1$ المنتجة فى هذا المولد ؟

المعطيات : $ف_م$ = ١٫٢ $\frac{فل\ ث}{م^٢}$

ل = ٢٥ سم
ض = ٣٠ سم
ع = ٩٦٠ دورة فى الدقيقة
ن = ١٠٠ لفة

المطلوب : $ج_1$



شكل ١٣٢
حث لفلطية ($ج_1$) فى هوائى
١ – المجال المغنطيسى للأرض .
٢ – الطول الفعال للموصل .

الحل :

عند سرعة ٩٦٠ دورة فى الدقيقة ، يمر الطول الفعال للموصل وهو ٢٥ سم بين قطبين عرض كل منهما ٣٠ سم وذلك بمعدل ١٦ مــرة كل ثانية ، ومن هــذا ينتج أن السرعة

ع = ٢ × ١٦ × ٠٫٣٠ $\frac{\text{متر}}{\text{ثانية}}$ وعلى ذلك :

جـ١ = فم × ل × ع × ن .

= ١٫٢ × ٠٫٢٥ × ٢ × ١٦ × ٠٫٣٠ × ١٠٠

= ٢٨٨ فلط

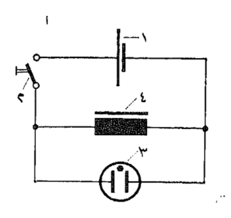
ينتج بالحث فى هذا المولد قوة دافعة كهربائية قيمتهـا ٢٨٨ فلط .

١٠/٥ – الحث الذاتى :

تبين ترتيبة الاختبار المبينـــة فى الشكل (١٣٣) كيفية تصرف ملف بقلب حديد فى دائرة كهربائية ، وذلك عندما يوصل التيار إليهـا ويفصم عنهـا . وتكون قيم مقاومة الملف والمقاومة الأومية الموصلة فى الدائرة الكهربائية متساوية . فعندما تشغل هذه الترتيبة ، يومض المصباح المتوهج الموصل على التوالى مع الملف متأخراً بعض الوقت عن المصباح المتوهج الموصل على التوالى مع المقاوم . وطبقاً لقانون لينز ، ينتج تيار بالحث ، يكون اتجاهه عكس اتجاه التيار الموجود عندما تقفل الدائرة الكهربائية (وهذا يعنى أيضاً ازدياد شدة المجال المغنطيسى للملف) . وعندما يصل الجهد وشدة التيار إلى قيمة معينة ؛ أى إذا لم يتغير الفيض المغنطيسى مرة ثانية ، يخبو هذا الحث . ويسمى الحث المغنطيسى الكهربائى المسبب عن قوة دافعة كهربائية إضافية فى الملف ، والتأثير الواقع على هذا الملف « الحث الذاتى » .

ويمكن ملاحظة الحث الذاتى المسبب عن قوة دافعة كهربائية عندما تفصم دائرة كهربائية ، وذلك بمساعدة ترتيبة كما هو مبين بالشكل (١٣٤) .

شكل ١٣٣
تصرفات ملفات بقلوب حديد فى دائرة كهربائية
١ – مصدر الجهد .
٢ – مفتاح كهربائى .
٣ – ملف بقلب حديد .
٤ – مقاومة أومية .
٥ – مصباح ١
٦ – مصباح ٢



شكل ١٣٤ : تصرف ملفات بقلوب حديد عندما تقطع الدائرة الكهربائية .
١ – مصدر للجهد (حوالى ٢ فلط) .
٢ – مفتاح كهربائى .
٣ – مصباح كهربائى مقنن جهده ج = ١١٠ فلط .
٤ – ملف بقلب حديد (حوالى ١٥٠٠ لفة)

فعندما تشغل هذه الترتيبة ، لا يمكن ملاحظة أى شىء من الخارج . وإنما يمكن فقط إثبات سريان تيار كهربائى فى هذه الدائرة الكهربائية . ولهذا الغرض يمكن استخدام أميتر أو إبرة مغنطيسية . فعند فصل هذه الدائرة الكهربائية ، يومض المصباح المتوهج لحظة ، وهذا يعنى أن الجهد قد وصل إلى قيمة قدرها ٥٠ مرة أعلى من قيمة الجهد المقنن . ويمكن شرح هذه الظاهرة كما يلى :

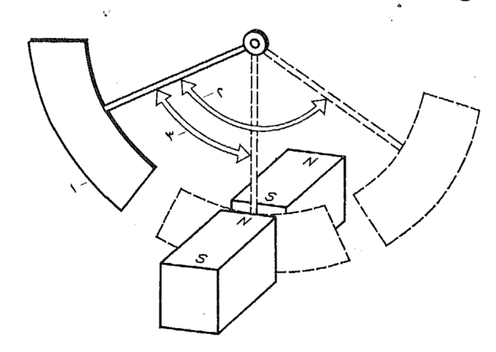
عند فصل الدائرة الكهربائية ، يبطل مفعول المجال المغنطيسى للملف ، وعند الأخذ فى الاعتبار التيار المنتج بالحث الذاتى ، نجد أن القوة الدافعة الكهربائية المسببة له ، تمارس تغيراً فى الاتجاه الذى أصبح عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية السابقة الناتجة بالحث ، وعليه يكون له الاتجاه نفسه كاتجاه التيار الموجود .

وعادة ، تسمى الملفات بقلوب حديد ، أى الملفات التى لها محاثة ، « ملفات المحاثة » . ولتصرف هذه الملفات أهمية فى دوائر التيار المتردد ذات التردد العالى والمنخفض ، وسيناقش ذلك فيما بعد .

١٠ /٦ – الحث المغنطيسى الكهربائى فى الموصلات المفلطحة :

فيما سبق تناولنا بالبحث الحث المغنطيسى الكهربائى فى الملفات والأسلاك المستقيمة . ولتصرف الموصلات المفلطحة بالنسبة للحث المغنطيسى الكهربائى أهمية لا تقل عن أهمية تصرف الموصلات والأسلاك المستقيمة بالنسبة للهندسة الكهربائية . ومن الشكل (١٣٠) ، نستخلص أن التيارات ذات الشدة العالية نسبياً تنتج بالحث فى حلقات موصلات مقفلة (ويمكن الاستدلال على ذلك من حركة حلقة السلك التى تتبع حركة قضيب المغنطيس) . ويبين الشكل (١٣٥) مثالا لاختبار يعطى معلومات تتعلق بتصرف التيارات المنتجة بالحث فى الموصلات المفلطحة . يعلق قطاع من الألومنيوم (يمكن أيضاً استخدام معدن آخر غير الألومنيوم) ، بحيث يسمح له بالتأرجح . وحركة البندول هذه التى يحدثها قطاع الألومنيوم المعلق ، تتبع قوانين التذبذبات التوافقية . فإذا تأرجح هذا البندول (قطاع الألومنيوم) خلال مجال مغنطيسى ، فسرعان ما يصل إلى حالة السكون ، ويتوقف ذلك على شدة هذا المجال .

وسبب توقف التذبذبات سريعاً عندما يدخل البندول المجال المغنطيسى ، هو ظهور تيارات منتجة بالحث ، تكون مجالاتها المغنطيسية موجهة بطريقة تعوق هذه الحركة ، وعلى ذلك فهى تتبع قانون لينز .



شكل ١٣٥ : الحث المغنطيسى الكهربائى فى ألواح الموصل .

١ — بندول من الألومنيوم . ٢ — تذبذبات فى الهواء الطلق

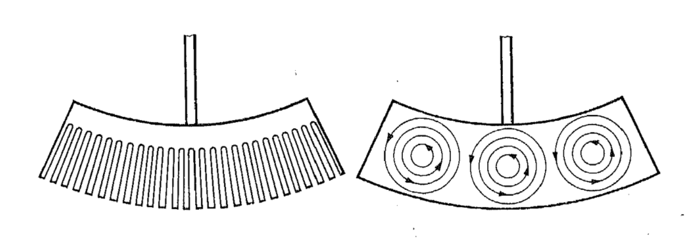
٣ — تذبذبات خلال مجال مغنطيسى .

يبين الشكل (١٣٦) مثالا لتوزيع مسارات التيار فى الموصل المفلطح ، ومن الواضح أن هذه المسارات تكون مقفلة . وتسمى التيارات المنتجة بالحث فى الموصلات المفلطحة « التيارات الدوامية».

وحيث أن للتيارات مسارات مقفلة فإن هـــذه التيارات تولد كمية لا بأس بهـا من الحرارة فى الموصل . وفى حالات كثيرة ، تكون هذه الحرارة غير مرغوب فيهـا فى المكنات والأجهزة الكهربائية . والشكل (١٣٧) يبين كيفية تجنب هذه التيارات الدوامية فى الموصلات المفلطحة ، وذلك بتزويد الموصلات بمثقبيات ضيقة .

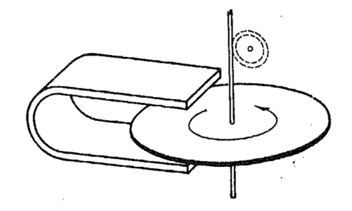
وعندما يسمح لمثل هذا الموصل المثقوب بالتأرجح خلال مجال مغنطيسى ، يتوقف الموصل بعد فترة . ويكون تأثير الفرملة ، وبالتالى تكون التيارات الدوامية ، قد منعت بدرجة كبيرة .

على أنه يمكن أيضاً كبح التيارات الدوامية بطريقة أخرى ، بدلا من استخدام موصل مفلطح ذى سمك معين فيمكن وضع عـــدة موصلات رفيعة معزولة فوق بعضهـا البعض لتكون موصلا بالسمك المعين المطلوب .



شكل ١٣٦ : ممر تيار فى ألواح الموصل

شكل ١٣٧ : لوح موصل مثقوب



شكل ١٣٨ : مضاءلة تيار دوامى تستخدم فى عداد كهربائى

تلعب هاتان الإمكانيتان لمضاءلة التيارات الدوامية دوراً هاماً فى الهندسة الكهربائية . فى المكنات الثابتة والدوارة ، تعمل أكوام من رقائق الدينامو خصيصاً للقلوب . « ورقيقة الدينامو » التى تعرف أيضاً « كرقيقة قلب » ، هى عبارة عن معدن مغنطيسى طرى ، يعزل من جانب واحد ، بطرق كيميائية كهربائية (وأحياناً بتبطينها بالورق) .

وفى الهندسة الكهربائية ، تستخدم التيارات الدوامية المضاءلة ، خصوصاً فى تقنيات الاختبار والقياس ، وتختبر عادة مقدرة المحركات الكهربائية على بدء الحركة بواسطة فرامل التيار الدوامى ، ويبين الشكل (١٣٨) ترتيبة لمضاءلة تيار دوامى تستخدم فى عداد كهربائى .

الفصل الحادى عشر

تأثيرات المجالات الكهربائية

١١/١ – المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة :

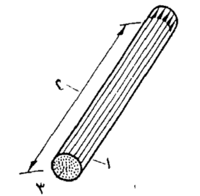
فيما يتعلق بأبحاث الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، ذكرنا أنها تلتصق بالأسطح ، وهى قادرة على الشحن بالحث . وللاستطراد فى شرحنا ، نفترض وجود ظاهرة تصاحب الشحنات الكهربائية المتحركة والتيار الكهربائى تشبه الظاهرة التى تصاحب المجالات المغنطيسية . وهناك تمييز بين المجالات الكهربائية فى الموصلات وفى غير الموصلات .

المجال المتدفق المتجانس فى موصل :

يقال عن التيار الكهربائى ، أنه حركة إلكترونات فى اتجاه مفضل . ويمكن أن يكون الحيز الذى تحدث فيه هذه الحركة ، قطعة من السلك ، كما هو مبين بالشكل (١٣٩) . وعادة يسمى الحيز الذى تحدث فى نطاقه ظاهرة كهربائية « المجال الكهربائى » . وعندما تحدث ظاهرة كهربائية فى موصل حامل للتيار ، فإننا نتكلم ، فى هذه الحالة ، عن مجال كهربائى متدفق . وتبين الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، الخطوط الكهربائية للقوة ، والتى عبر عنها فى الشكل ، بخطوط متقطعة ، لتمييزها عن الخطوط المغنطيسية للفيض .

فإذا كان الموصل من النوع المستقيم ، ومساحة مقطعه المستعرض منتظمة ، تكون الخطوط الكهربائية للقوة متوازية بعضها مع بعض . ويمكن تعيين قيمة جهد ج ، مسلط على هذا الموصل ، لأى مقطع طولى ل منه . وتسمى النسبة بين الجهد المسلط وبين طول الموصل « الشدة الكهربائية » ش ، وعليه فإن :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$

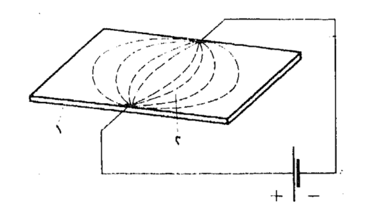


شكل ١٣٩ : مجال كهربائى متجانس متدفق فى موصل من الطراز المستقيم .

١ – موصل .

٢ – طول من الموصل .

٣ خطوط المجال الكهربائى .



شكل ١٤٠
شكل المجال فى موصل من الطراز اللوح
١ – موصل من الطراز اللوح .
٢ – مجال غير متجانس متدفق .

المجال المتدفق غير المتجانس فى موصل :

عندما يسرى تيار كهربائى خلال موصل من نوع اللوح ، فإن مسارات الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، وبالتالى مسار خطوط القوة ، تكون غير مستقيمة تماماً ، وإنما تشبه تقريباً التشكيل المبين فى الشكل (١٤٠) .

يوصل اللوح الموصل ، وهو لوح معدنى فى هذه الحالة ، بدائرة كهربائية . وبالنسبة للمسار الذى تتخذه خطوط القوة ، يمكن النص على ما يلى :
تمتد الخطوط الكهربائية للقوة من القطب الموجب إلى القطب السالب .

وتميل خطوط القوة للسير كل على حدة فى المجال غير المتجانس ، وهذه الحقيقة يمكن وصفها كما يلى :

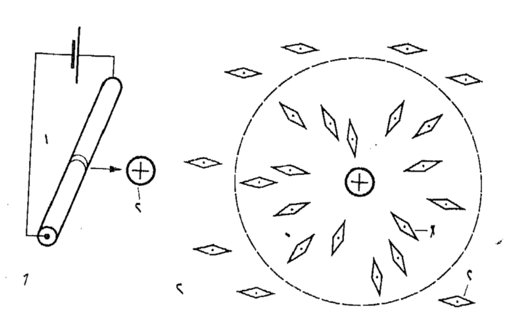
تبذل قوة شد فى اتجاه خطوط القوة ، بينما تبذل قوة ضغط عمودية على خطوط القوة .

١١/٢ – المجالات الكهربائية فى غير الموصلات :

يمكن تتبع المجالات الكهربائية المتدفقة فى الموصلات ، بسهولة ، وذلك بواسطة جهاز بيان كهربائى . وعلى كل ، فإنه من المفيد إيجاد ما إذا كان ما يحيط بالموصل الحامل للتيار يمارس أفعال قوة مشابهة لتلك التى تصاحب الشحنات الكهربائية الأستاتيكية ، والتى يمكن استبيانها بواسطة الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائى) . ويجب إبعاد أطراف توصيل الإلكتروسكوب عن بعضهما البعض خلال شحنه ، لتجنب فعل القوة .

(ا) تعريف المجال الكهربائى فى غير الموصل :

يبين الشكل (١٤١ – ١) مثالا لمقطع مستدير من موصل مستقيم ، يفترض قطعه من دائرة كهربائية . وعندما ترتب قصاصات صغيرة من الورق حول هذا المقطع، بحيث تكون حرة الحركة، فإنها تتجه تجاه الموصل فى حدود مسافة معينة ف من مقطع الموصل (الشكل ١٤١ – ٢) .



شكل ١٤١ : تمثيل مجال كهربائى فى غير موصل

(١)	(٢)
١ – دائرة .	١ – قصاصات من الورق ينضبط اتجاهها بواسطة خطوط القوة.
٢ – مقطع مستدير من الموصل.	٢ – قصاصات من الورق خارج نطاق تأثير المجال الكهربائى .

وتتجه قطع الورق الصغيرة التى لم تتجه فى بادئ الأمر فى هذا الاتجاه المفضل ، تجاه الموصل عندما يسمح بسريان تيار كهربائى فيه . وتكون قصاصات الورق التى لا تتجه فى هذا الاتجاه ، خارجة عن نطاق تأثير القوة التى يبذلها المجال الكهربائى حول الموصل الحامل للتيار .

وبرسم خط يصل بين أطراف قصاصات الورق ومركز مقطع الموصل ، يمكن الحصول على تمثيل مستو لمجال كهربائى (الشكل ١٤٢) .

ويكون الحيز المحيط بجسم مشحون كهربائياً ، هو المجال الكهربائى .

ويقال لمجال كهربائى أنه موجود فى نقطة ما ، إذا بذلت قوة من أصل كهربائى على أى جسم مشحون موضوع فى هذه النقطة .

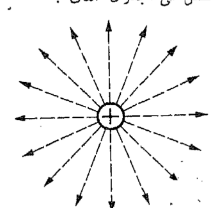
قانون كولوم :

إذا أجرى اختبار معملى بسيط ، للتأكد من وجود قوة يبذلها جسم على جسم آخر ، فيبين هذا الاختبار أن لهذه القوة قيمة أعلى ، عند أى نقطة قريبة من مصدر المجال الكهربائى ، من قيمتها عند أى نقطة على مسافة بعيدة من هذا المصدر . وقد بحث كولوم (١٧٣٦ – ١٨٠٦) هذه العلاقات المتبادلة ، وأوضح ما يعرف فى أيامنا هذه « بقانون كولوم » .

فإذا قيل مثلا ، أن قوة مقدارها ١٠٠ ملى باوند موجودة فى نقطة على مسافة ٢ سم من مصدر المجال الكهربائى ، فإن قوة مقدارها ٢٥ ملى باوند يمكن أن توجد على مسافة ٤ سم ،

وقوة مقدارها ١١,١ ملى باوند يمكن أن تتواجد على مسافة ٦ سم من هذا المصدر . ومن ذلك نحصل على الجدول التالى :

المسافة ف بالسنتيمتر	القوة ق بالملى باوند
٢	١٠٠
٤	٢٥
٦	١١,١



شكل ١٤٢ : تمثيل مستو لمجال كهربائى حول موصل مستدير

ويتبين من ذلك ، أنه على مسافة ٤ سم انخفضت القوة إلى $\frac{١}{٤}$ (ربع) قيمتها الأصلية ، وعلى مسافة ٦ سم انخفضت القوة إلى $\frac{١}{٩}$ (تسع) قيمتها الأصلية ويمكن من هذه القيم العملية ، استنتاج الصيغة التالية :

للحصول على قوة المجال الكهربائى ، تضرب القوة فى مربع المسافة .

أى أن : $ق_{مجال} = ق \times ف^٢$

بتطبيق ذلك على المثال السابق ، نحصل على ما يلى :

$$١٠٠ \times ٢^٢ = ١٠٠ \times ٢ \times ٢ = ١٠٠ \times ٤ = ٤٠٠$$

$$٢٥ \times ٤^٢ = ٢٥ \times ٤ \times ٤ = ٢٥ \times ١٦ = ٤٠٠$$

$$١١,١ \times ٦^٢ = ١١,١ \times ٦ \times ٦ = ١١,١ \times ٣٦ = ٣٩٩,٦ \simeq ٤٠٠$$

ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية :

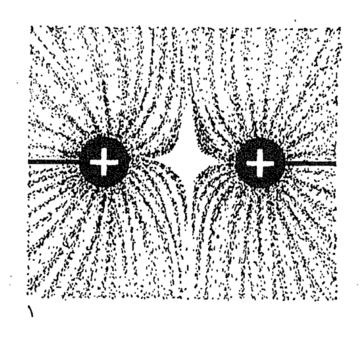
تتناقص القوة الفعالة لمجال كهربائى بمقدار مربع المسافة .

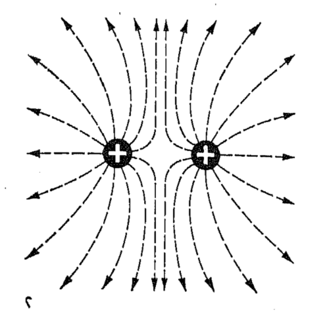
(ب) تشكيلات المجالات الكهربائية :

للحصول على تشكيل لمجال كهربائى ، توضع موصلات ذات أشكال مختلفة فى طبقة رقيقة من الزيت المغطى بحبيبات « الصميذ » semolina . فعند سريان التيار الكهربائى فى هذا الموصل ، تترتب هذه الحبيبات فى اتجاه خطوط القوة ، وتعطى بذلك تشكيلا للمجال . وتبين الأشكال الآتية بضع تشكيلات للمجالات الكهربائية .

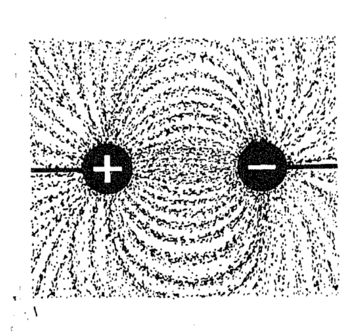
وعند دراسة هذه التشكيلات ، يمكن التميز بسهولة بين تشكيلين أساسين للمجالات الكهربائية : مجالات كهربائية متجانسة ومجالات كهربائية غير متجانسة .

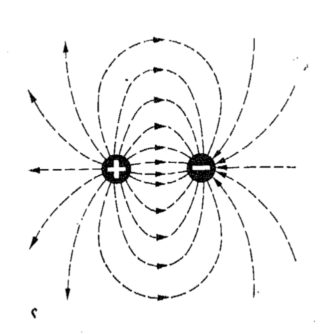
ويمكن الحصول على مجال متجانس بوضع لوحين معدنيين عريضين إلى حد ما ، على مسافة صغيرة من بعضهما البعض . وتسمى هذه الترتيبة « المكثف الكهربائى » أو « المواسع » . وتلعب المواسعات دورا هاما فى الهندسة الكهربائية . وسيرد وصفها فيما بعد .



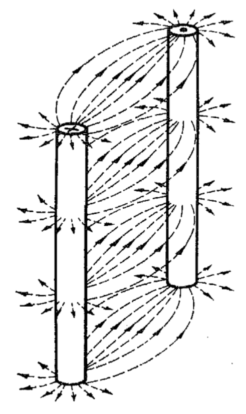


شكل ١٤٣ : تشكيلات المجالات الكهربائية حول مقطعين لموصلين لهما نفس القطبية
١ – تشكيل المجال الكهربائى كنتيجة للتجربة .
٢ – تمثيل تخطيطى لمجال كهربائى .





شكل ١٤٤ تشكيلات لمجالات كهربائية حول مقطعى موصل مختلفى القطبية
١ – تشكيل المجال الكهربائى كنتيجة للتجربة .
٢ – تمثيل تخطيطى لمجال كهربائى .



شكل ١٤٥ : تشكيل لمجال كهربائى
منتج بواسطة أسطوانتين معدنيتين

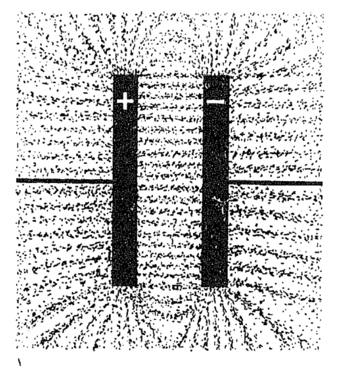
١١/٣ – كميات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة :

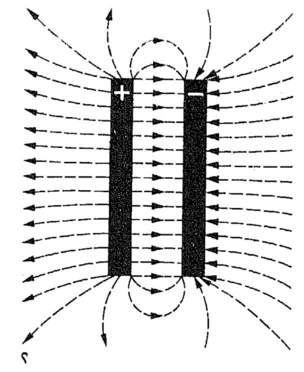
(ا) الوسط الكهربائى العازل – استقطاب الوسط الكهربائى العازل :

يمكن ملء الحيز الذى يوجد فيه مجال كهربائى متجانس ، مثل الحيز الموجود بين ألواح مواسع ، بأوساط تختلف عن بعضها البعض تماما . وتعرف هذه الأوساط « الوسط الكهربائى العازل » ، كما تسمى الأنواع المختلفة للأوساط الكهربائية العازلة فى الحياة العملية « المواد العازلة » ، أى المواد التى لا توصل التيار الكهربائى (القسم الأول – الفصل السادس) .

ويمكننا افتراض حدوث تغيرات أيضا لها طابع كهربائى فى الوسط الكهربائى العازل ، وذلك بإثبات وجود قوى فى المجال الكهربائى ، علاوة على إمكان ملاحظة ظاهرة الحث فى هذا المجال . ويبين الشكل (٤٧) ترتيبة اختبار ، تستخدم للمساعدة فى تبيان الظواهر الكهربائية التى تحدث فى حيز غير موصل . تولج حلقة موصلة بجهاز قياس ، بين ألواح مواسع .

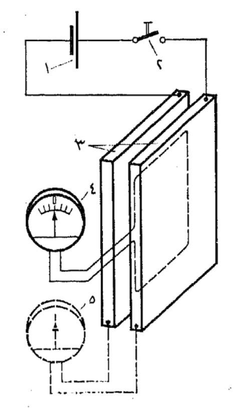
فعند تشغيل هذه الدائرة الكهربائية ، يحدث انحراف عابر لمؤشر جهاز القياس ، وإذا قطعت التغذية عن هذه الدائرة الكهربائية ، ووصل جهاز القياس بعد ذلك بلوحى مواسع ، ينحرف المؤشر أيضا لفترة وجيزة . ويتضح من ذلك سريان تيار كهربائى خلال غير الموصل تحت هذه الظروف المعطاة .





شكل ١٤٦ : تشكيل المجال الكهربائى بين لوحين معدنيين
١ — تشكيل المجال الكهربائى كنتيجة للتجربة .
٢ — تمثيل تخطيطى لمجال كهربائى .

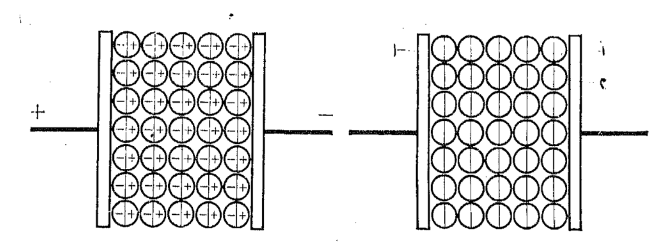
وتفسر هذه الظاهرة على أساس ما سبق شرحه . فقد تكونت على لوحى المواسع ، شحنات كهربائية متضادة القطبية ، تعادلت عن طريق جهاز القياس ، وذلك عند قطع التغذية عن الدائرة الكهربائية . أما عند تشغيل هذه الدائرة ، فتفسر الظاهرة التى حدثت كما يلى :



شكل ١٤٧ : شكل يبين ظاهرة كهربائية تحدث فى مجال متجانس
١ — مصدر الجهد .
٢ — مفتاح كهربائى .
٣ — ألواح المواسع .
٤ — حلقة الموصل الموصلة بجهاز القياس .
٥ — جهاز القياس الموصل بألواح المواسع .

إذا رجعنا إلى نموذج الذرة المبين فى القسم الأول – الفصل الثانى ، تتكون مواد كثيرة من اتحاد ذرتين أو أكثر من تكوين مختلف ، فمثلا كلوريد الصوديوم يتكون من اتحاد الصوديوم والكلور . ويسمى أصغر جزء من اتحاد صوديوم وكلور ، أى اتحاد ذرة صوديوم مع ذرة كلور ، « الجزئ » . فمثلا جزئ ماء يتكون من ذرتين هيدروجين (يد) ، وذرة أكسيجين (أ) ويعبر عن هذا الاتحاد بالرمز (يد٢ أ). وفى حالة التعادل الكهربائى للوسط الكهربائى العازل ، فإن الإلكترونات الموجودة فى جزيئاتها ، لا تتخذ إتجاها مفضلا لها (الشكل ١٤٨) .

وعندما يسلط جهد على ألواح المواسع ، تنضبط الشحنات الكهربائية الموجودة على الجزيئات بطريقة معينة . ويسمى هذا الانضباط أو الإزاحة للشحنات على الجزئيات « استقطاب الوسط الكهربائى العازل » (الشكل ١٤٩) . ويكون اتجاه الشحنات على الجزيئات ، بحيث ، تضاد الشحنة الموجبة لجزئ لوح المواسع المشحون السالب . وهذا يعنى ، أنه إذا سلط جهد على ألواح المواسع ، فانه يتكون مجال كهربائى . وبتعبير آخر يشحن المواسع ، ويصاحب ذلك ظهور تيار شحن وتيار استقطاب ، ويعبر عن هذين التيارين عادة « بتيار الإزاحة للوسط الكهربائى العازل » .



شكل ١٤٨ : الجزيئات المتعادلة كهربائيا بين لوحى مواسع
١ – لوحا مواسع . ٢ – جزيئات .

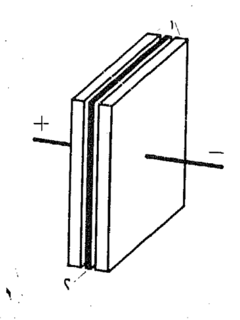
شكل ١٤٩ استقطاب الوسط الكهربائى العازل

(ب) كثافة الإزاحة الكهربائية :

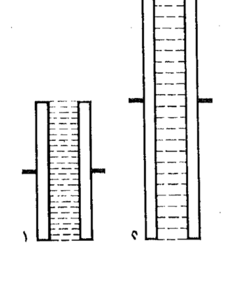
تحمل ألواح مواسع مشحون ، كمية معينة من الكهرباء ك (القسم الأول – الفصل الرابع) . وتتوقف شدة المجال الكهربائى المتجانس ، التى يمكن بيانها بتباعد خطوط القوة ، على كمية الكهرباء ومساحة ألواح المواسع . والتمثيل المبين فى الشكل (١٥٠) ، مبنى على إفتراض أن كمية الكهرباء (والتى اصطلح عليها كشحنة) تكون هى نفسها فى كلا المواسعين كما هو مبين فى هذا الشكل ، أى أن

$ك^-_1 = ك^-_2$، وأن مساحة ألواح المواسع تختلف عن بعضها البعض، أى أن $ح_1 \neq ح_2$. وفى كلتا الحالتين يتساوى عدد خطوط القوى ، ويمكن التحقق من ذلك بعدها ، ومع ذلك فإنها تكون متباعدة بمسافات أكبر ، فى حالة المواسع الأكبر . وهذا يبين أنه يمكن الحصول على مقياس لكثافة شحنة مواسع من خارج القسمة $\frac{ك^-}{ح}$. وإذا وضع لوح معدنى داخل مجال مواسع بنفس الطريقة ، كما هو مبين بالشكل (١٥١) ، فإن شحنة كهربائية ك تنتج بالحث على هذا اللوح . وإذا كانت مساحة اللوح ح مساوية لمساحة المواسع $ح^-$ ، تكون قيمة الكثافة من خارج القسة $\frac{ك}{ح}$ مساوية لقيمتها من خارج القسمة $\frac{ك^-}{ح^-}$. ويسمى خارج القسمة هذا «كثافة الإزاحة الكهربائية» ويرمز لها بالرمز $ك_1$ ، أى :

$$ك_1 = \frac{ك}{ح} = \frac{ك^-}{ح^-}$$



شكل ١٥١ : تعيين كثافة الإزاحة
١ – لوحا مواسع .
٢ – ألواح معدن مستحثة ذات كثافة $\frac{ك}{ح}$



شكل ١٥٠ : تمثيل كثافة الشحنة
١ – مواسع بلوحين صغيرين .
٢ – مواسع بلوحين كبيرين .

ويسمى خارج القسمة $\frac{ك^-}{ح^-}$ «كثافة الشحنة للمواسع» ويرمز لها بالرمز $ك_{ش}$ أيضا.

ونحصل على وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية من كمية الكهرباء (الشحنة) ، معبرا عنها بالأمبير ثانية (مب . ث) ، والمساحة معبرا عنها بالسنتيمتر المربع (سم^{2}) ، وعليه تكون وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية هى : $\frac{\text{مب . ث}}{\text{سم}^{2}}$

(ج) معامل الوسط الكهربائى العازل :

للحصول على استقطاب ، وبالتالى على مجال متجانس ، تلزم شدة كهربائية ش لها قيمة معينة . ويتوقف ذلك على نوع الوسط الكهربائى العازل المستخدم فى المواسع . وقابلية الأوساط الكهربائية العازلة لاكتساب الاستقطابية ، هى خاصية تميز بثابت الوسط الكهربائى العازل ، الذى يعرف أيضا « بمعامل الوسط الكهربائى العازل « ع » . وبدراسة الاستقطاب فى الفراغ وجد أن « ثابت التأثير » « $ع_{0}$ » يساوى $0{,}0886 \times 10^{-12}$ $\frac{\text{مب . ث}}{\text{فل} \times \text{سم}}$

ويمكن التعبير عن أوساط كهربائية عازلة أخرى بقيم مضاعفة من هذه القيمة . وتسمى القيمة التى تنحرف عن قيمة ثابت التأثير « بثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى « $ع_{\text{نسبى}}$ » .

ومعامل الوسط الكهربائى العازل هو حاصل ضرب ثابت التأثير فى ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى ، أى :

$$ع = ع_{0} \times ع_{\text{نسبى}}$$

وتبين القائمة التالية ، ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى لبعض الأوساط الكهربائية العازلة :

الوسط الكهربائى العازل	ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبى $ع_{\text{نسبى}}$
كوارتز	٤
ميكا	٧
مطاط	٤
بونا (Buna)	٢,٧
صينى صلد (مصقول)	٥,٥ — ٦,٥
أستيتيت	٥,٥ — ٦,٥
زجاج	٣ — ١٠
ورق مشرب بالبرافين	٢,٥ — ٤

الوسط الكهربائى العازل	ثابت الوسط الكهربائى العازل النسبي $ع_{نسبي}$
ورق مضغوط	٢ — ٦
زيت محولات	٢ — ٢,٥
فــراغ	١
هــواء	١,٠٠٠٦
ماء مقطر عند ٢٠ م°	٨٠
مواد فخارية خاصة :	
كاليت (Calit)	٦ — ٧
كوند نسان تمبا (Condensan Tempa)	٣٠ — ٥٠
إبسيلان (Epsilan)	٤٠٠٠ — ٧٠٠٠
لدائن (بلاستيك) :	
استيروفلكس (Styroflex)	٢,٤
كلوريد عديدالفينيل	٢,٨ — ٣,٤
بكاليت	٢,٩

(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت الوسط الكهربائى العازل :

يمكن أيضا تعيين كثافة الشحنة $\frac{ك}{ح}$ لمواسع ما ، إذا عرفت الشدة الكهربائية ش ، وثابت الوسط الكهربائى العازل النسبي $ع_{نسبي}$. ولذلك أهمية فى تصميم وتكوين المواسعات كما سيبين بعد .

فإذا كانت الشدة الكهربائية هى ش = $\frac{ج}{ل}$ معبرا عنها $\frac{فل}{سم}$ ، وثابت الوسط الكهربائى العازل هو $ع_0$ = $ع_{نسبي}$ معبرا عنه $\frac{مب . ث}{فل \times سم}$ ، فبضرب ش × ع نحصل على الوحدة التالية :

$$\frac{فل}{سم} \times \frac{مب . ث}{فل \times سم} \text{ ، أى نحصل على } \frac{مب . ث}{سم^2}$$

هذه الوحدة هى نفسها وحدة كثافة الشحنة أو وحدة كثافة الإزاحة .

ويمكن التعبير عن كثافة الشحنة لمواسع ، بطريقتين :

١ — $ك_{ش} = \frac{ك}{ح}$ (نسبة شحنة مواسع إلى مساحة لوحة) .

٢ — $ك_{ش}$ = ع × ش (حاصل ضرب نوع الوسط الكهربائى العازل لمواسع فى الشدة الكهربائية للوسط) .

(ه) المواسعات :

من $ك_{ش} = \frac{ك}{حـ}$ ، $ك_{ش}$ = ع × ش = ع × $\frac{ج}{ل}$

ينتج أن $\frac{ك}{حـ} = ع \times \frac{ج}{ل}$

وعند حل هذه المعادلة لإيجاد قيمة ك :

$$ك = ع \times \frac{ج}{ل} \times حـ$$

وفى هذه المعادلة ، لمواسع إزالة التداخل من المحركات الكهربائية المنزلية ، أو فى مرشح موجه لمقوم ، تستخدم الكميات التالية :

١ — مساحة اللوح حـ

٢ — المسافة بين الألواح ل

٣ — نوع الوسط الكهربائى العازل مع ثابت الوسط الكهربائى العازل ع .

وتؤخذ هـذه الكميات فى الاعتبار ، عند كتابة هذه المعادلة كما يلى :

$$ك = \boxed{ع \times \frac{حـ}{ل}} \times ج$$

والتعبير الموجود بداخل المستطيل $\frac{ع \times حـ}{ل}$ ، لمواسع من النوع المبين أعلاه ، هو ثابت يطلق عليه « المواسعة » ويرمز لهـا بالرمز س ، وهى مشتقة من السعة .

وتكون السعة أعلى كلما كان مقاس ألواح المواسع أكبر ، وكانت مسافة الألواح أصغر ، مع افتراض أن الوسط الكهربائى العازل يكون ثابتا . وعليه فان :

$$ك = س \times ج \text{ ، } س = \frac{ك}{ج}$$

بالتعمق فى دراسة تصميم المواسعات ، نجد أن المصممين يبذلون جهودا للوصول إلى تصميم مواسعة عالية ، بوضع الألواح أقرب ما يمكن من بعضها البعض ، وباختيار وسط كهربائى عازل ذى متانة كهربائية عازلة عالية ، (انظر القسم الأول — الفصل السادس) ، وباستخدام رقائق رفيعة من المعدن على مسافات صغيرة .

ووحدة المواسعة هي $\frac{\text{مب . ث}}{\text{فل}}$ ،وتسمى « فاراد » نسبة إلى عالم الطبيعيات الانجليزي فاراداي.
والفاراد الواحد عبارة عن كمية كهربائية ذات قيمة عالية . ويفضل عمليا استخدام وحدات مشتقة من الفاراد مثل :

١ ميكرو فاراد (ف) = $١٠^{-٦}$ ف

١ نانو فاراد (نف) = $١٠^{-٩}$ ف

١ بيكو فاراد (بف) = $١٠^{-١٢}$ ف

المواسعة س هي نسبة الشحنة ك إلى فرق الجهد أو الفلطية ج بين الموصلات،وعلى ذلك :

$$س = \frac{ك}{ج}$$

(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات :

مثال :

مواسع مقاس لوحه ٦ سم × ٨ سم . استخدمت به ميكا بسمك ١م كوسط كهربائي عازل . فا مواسعة هذا المواسع ؟

المعطيات : مقاس اللوح ٦ سم × ٨ سم
المسافة بين الألواح ل = ١م
ثابت الوسط الكهربائي النسبي للميكا $ع_{نسبي} = ٧$

المطلوب : المواسعة س

الحل :

$$س = ع_٥ \times ع_{نسبي} \times \frac{ح}{ل}$$

ح = ٢ × ٦ × ٨ = ٩٦ $سم^٢$ ، وعلى ذلك فان .

$$س = ٠,٠٨٨٦ \times ١٠^{-١٢} \times ٧ \times \frac{٩٦}{٠,١}$$

$= ٥٩٥,٤ \times ١٠^{-١٢} = ٥٩٥,٤$ بيكوفاراد

هذا المواسع له مواسعة قيمتها ٥٩٥,٤ بيكو فاراد .

مثال :

سلط جهد ١٥٠٠٠ فلط على مواسع له وسط كهربائي عازل من الورق المضغوط سمكه ٢م . فا الشدة الكهربائية للمواسع ؟

المعطيات : الجهدج = ١٥٠٠٠ فلط
المسافة بين الألواح ل = ٢م

المطلوب : الشدة الكهربائية ش

الحـــل :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$

$$ش = \frac{١٥٠٠٠}{٠٫٢} = ٧٥٠٠٠ \text{ فلط/سم}$$

الشدة الكهربائية للمجال على المواسع هى ٧٥٠٠٠ فلط/سم .

مثـــال :

سلط جهد ٢٢٠ فلط على مواسع ذى مواسعة قيمتها ١٦ ميكرو فاراد . فا الشحنة الموجودة على المواسع ؟

المعطيات : المواسعة = ١٦ ميكر فاراد

الجهد ج = ٢٢٠ فلط

المطلوب : الشحنة الكهربائية ك

الحـــل :

$$ك = س \times ج$$

$$= ١٦ \times ١٠^{-٦} \times ٢٢٠$$

$$= ٣٫٥٢ \times ١٠^{-٣} \text{ مب.ث}$$

الشحنة الموجودة على المواسع هى ٣٫٥٢ × ١٠$^{-٣}$ أمبير ثانية .

(ز) فقد العزل لمواســع :

إذا سلط جهد على جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى المطلق (انظر القسم الثانى – الفصل الثالث) ، تقترب الألواح من بعضهـا البعض،وفى نفس الوقت يتكون مجال كهربائى متجانس بينهما . وتشبه هذه الترتيبة ، ترتيبة مواسع . فإذا كانت هذه النبيطة غير مفرغة (مثلا ، عن طريق القياس) فإن الألواح لا تظل على نفس المسافة لفترة طويلة ، بل يحدث تفريغ ، ويكون هذا التفريغ نتيجة لموصلية الوسط الكهربائى العازل . ولذلك تكون مقاومة العزل للوسط الكهر بائى العازل عالية جداً ، مع أنه سيمر تيار صغير حتما . ويسمى هذا التيار « تيار العزل » أو « تيار التسرب » الذى يسبب اضمحلال المجال الكهربائى . وعندما يظل الجهد مسلطاً على المواسع لفترة أطول ، يمر تيار تسرب باستمرار ، يمثل مع الجهد المسلط فقد قدرة للمواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد العزل » ويمكن أن يكون لفقد القدرة شكل آخر ، إذا كان المواسع مغذى بجهد متردد . وفى مجال دراستنا لاستقطاب الوسط الكهربائى العازل ذكرنا أن تيار إزاحة الوسط الكهربائى العازل يسرى نتيجة لاستقطاب جزيئات هذا الوسط.وإذا سلط تيار متردد على المواسع، يعرض الوسط الكهربائى العازل إلى انعكاس مستمر للقطبية .

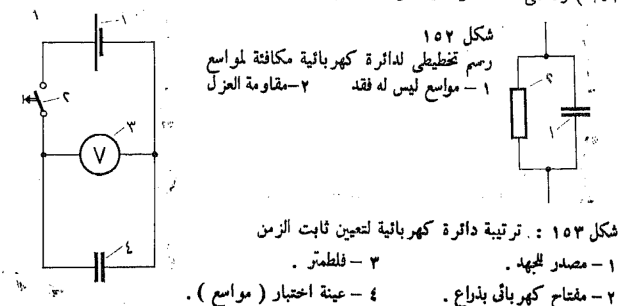
ويمثل تيار الإزاحة للوسط الكهربائى العازل ، مع الجهد المسلط ، فقد قدرة للمواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد الوسط الكهربائى العازل » .

من هذا يتبين أن المواسعات التى تعمل بالتيار المستمر تكون معرضة لفقد عزل ، بينما تكون المواسعات التى تعمل بالتيار المتردد معرضة لكل من فقد العزل وفقد الوسط الكهربائى العازل . ويظهر هذا الفقد فى شكل حرارة تتولد فى المواسع الذى يحدث فيه الفقد . ولقد بذلت مجهودات كبيرة للمحافظة على قيمة هذا الفقد صغيرا بقدر الإمكان . ومن البديهى ، أنه يجب اختيار عازل ذى جودة عالية . ويكون ثابت الزمن ز مقياسا لهذه الجودة .

ولشرح ثابت الزمن ز ، تأخذ فى الاعتبار مواسعاً (لا داعى لوصفه هنا) ويكون لمواسعته س ولمقاومة عزل وسطه الكهربائى العازل م أهمية .

ونفرض استخدام هذا المواسع على التيار المستمر لسهولة الشرح .

لتمثيل مقاومة العزل م ، يمكن استخدام رسم تخطيطى لدائرة كهربائية مكافئة ، تمثل مواسعاً ليس له فقد ، موصل على التوازى مع مقاوم ، تكون مقاومته مكافئة للعزل (الشكل ١٥٢) وتسمى هذه المقاومة « مقاومة الفقد » .



شكل ١٥٢
رسم تخطيطى لدائرة كهربائية مكافئة لمواسع
١ – مواسع ليس له فقد ٢ – مقاومة العزل

شكل ١٥٣ : ترتيبة دائرة كهربائية لتعيين ثابت الزمن
١ – مصدر للجهد . ٣ – فلطمتر .
٢ – مفتاح كهربائى بذراع . ٤ – عينة اختبار (مواسع) .

ويكون حاصل ضرب المواسعة التى ليس لها فقد س فى مقاومة الفقد م هو ثابت الزمن ز

ز = س × م .

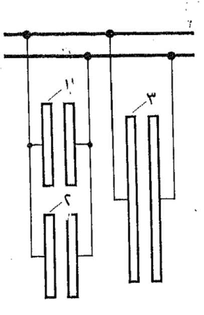
وكلما طالت الفترة التى يستبقى خلالها مواسع مشحون شحنته ، بالمقارنة بمواسع آخر له نفس المواسعة ، كانت جودة عزل هذا المواسع أعلى . والمواسع الذى ليس له فقد ، يكون قادراً على الاحتفاظ بشحنته لفترة لا نهائية . وحتى الآن لم يمكن إنتاج مثل هذا المواسع . وهناك علاقة بين ثابت الزمن ز والجهد المسلط ج لمواسع . وثابت الزمن ز هو الوقت الذى يفرغ خلاله مواسع ليس له فقد عن طريق مقاوم موصل على التوازى إلى $\frac{١}{٢,٧٢}$ من جهد شحنة .

وعلى أساس هذه العلاقة يمكن تعيين المواسعة، مع التقريب البسيط، و بمساعدة طرق بسيطة نسبياً ، و يلزم لذلك مصدر للجهد بتيار مستمر، وقاطع دائرة كهربائية ، وفلطمتر ، وساعة ، (الشكل ١٥٣) .

والفقد الذى يمارسه مواسع يميز بفقد عزل و بفقد وسط كهربائى عازل. وفى الحياة العملية يجرى كل شئ فى سبيل المحافظة على هذا الفقد أصغر ما يمكن . ولا جدال فى أن لجودة العزل للوسط الكهربائى العازل أثره على فقد المواسع . وثابت الزمن ز هو بيان مناسب لتقييم جودة العزل .

٤/١١ – ترتيبة الدائرة الكهربائية للمواسعات :

فيما يتعلق بمناقشة الدوائر والشبكيات الكهربائية البسيطة ، ناقشنا علاقات التيار والجهد والإمكانيات المختلفة لترتيب المقاومات فى دائرة كهربائية . وبالمثل يمكن استخدام المواسعات كعناصر دائرة كهربائية . ويشير الشرح التالى إلى ترتيب المواسعات فى دوائر التيار المستمر .



شكل ١٥٤

المواسعات الموصلة على التوازى والشحنة عليها

١ – مواسع له مواسعة $س_1$.

٢ – مواسع له مواسعة $س_2$.

٣ – مواسع له مواسعة $س_1 + س_2 = س_3$

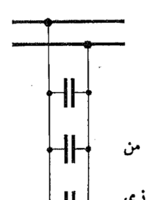
(١) توصيل المواسعات على التوازى :

يبين الشكل (١٥٤) ثلاثة مواسعات ، مواسعاتها $س_1$ ، $س_2$ ، $س_3$ ، سلط عليها نفس الجهد ج . وللمواسعين الموصلين على التوازى نفس نوع الوسط الكهربائى العازل ونفس الأبعاد الهندسية . وتساوى أبعادهما الهندسية معاً الأبعاد الهندسية للمواسع الثالث . ويمكن التحقق باستخدام القياس من أنه فى هذه الحالة :

$$س_1 + س_2 = س_3 \quad ، \quad ك_1 + ك_2 = ك_3$$

علاوة على ذلك ، فإنه يمكن إستخدام المعادلة الآتية فى هذه الحالة :

$$س_1 \times ج + س_2 \times ج = س_3 \times ج$$



يبين الشكل (١٥٥) ، ثلاثة مواسعات موصلة على التوازى ، مواسعاتها $س_1$ ، $س_2$ ، $س_3$. يمكن الحصول على المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة من

$$س_{إجمالية} = س_1 + س_2 + س_3$$

شكل ١٥٥ : ثلاث مواسعات موصلة على التوازى ويمكن أن يكون للمواسعة أى قيمة مطلوبة

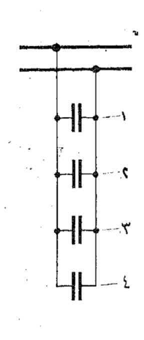
من هذا ينتج أن :

عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازى . تكون المواسعة الإجمالية مساوية لحاصل جمع كل مواسعة على حدة :

وإذا وصلت مواسعات لها نفس المواسعة على التوازى فى دائرة كهربائية، تكون المواسعة الإجمالية لها :

$$س_{إجمالية} = ن \times س_1$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوازى .



شكل ١٥٦ : أربع مواسعات موصلة على التوازى

١ — $س_1 = 8\ \mu$ ف . ٢ — $س_2 = 8\ \mu$ ف . ٣ — $س_3 = 2\ \mu$ ف .
٤ — $س_4 = 4\ \mu$ ف .

مثـــال :

ما المواسعة الإجمالية للترتيبة المبينة فى الشكل (١٥٦) :

المعطيات : انظر الشكل (١٥٦) .

المطلوب : س إجمالية

الحـــل :

$$س_{إجمالية} = س_1 + س_2 + س_3 + س_4$$

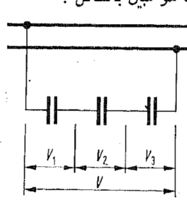
$$= 8 + 8 + 2 + 4$$

$$= 22\ \mu\ ف$$

المواسعة الاجمالية للترتيبة هى ٢٢ μ ف .

(ب) توصيل المواسعات على التوالى :

يبين الشكل (١٥٧) ثلاثة مواسعات موصلة على التوازى ، مواسعاتها $س_1$ ، $س_2$ ، $س_3$.
فرق الجهد فى هذه الدائرة الكهربائية $ج = ج_1 + ج_2 + ج_3$ كما هو مبين بالشكل .



شكل ١٥٧ : ثلاث مواسعات موصلة على التوالى

لتعيين المواسعة الإجمالية :

$$ج = \frac{ك}{س}$$. ومن هذه العلاقة نستنتج :

$$ج = \frac{ك}{س_1} + \frac{ك}{س_2} + \frac{ك}{س_3} = \frac{ك}{س_{إجمالية}}$$

فبالقسمة على ك نحصل على :

$$\frac{1}{س_{إجمالية}} = \frac{1}{س_1} + \frac{1}{س_2} + \frac{1}{س_3}$$.

هذا يعنى أنه عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازى ، فإن مقلوب المواسعة الإجمالية يساوى حاصل جمع مقلوب كل مواسعة على حدة .

ويطبق الآتى على مواسعين موصلين على التوالى :

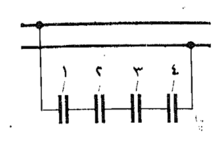
$$\text{س}_{\text{إجمالية}} = \frac{\text{س}_{١} \times \text{س}_{٢}}{\text{س}_{١} + \text{س}_{٢}}$$

مثـــال :

ما المواسعة الإجمالية لترتيبة الدائرة الكهربائية المبينة فى الشكل (١٥٨) ؟

المعطيات : انظر الشكل (١٥٨)

المطلوب : $\text{س}_{\text{إجمالية}}$



شكل ١٥٨ : أربعة مواسعات موصلة على التوالى

١ - س = ٢ μف .   **٣** - س = ٤ μف .

٢ - س = ٨ μف .   **٤** - س = ٤ μف .

الحـــل :

$$\frac{١}{\text{س}_{\text{إجمالية}}} = \frac{١}{\text{س}_{١}} + \frac{١}{\text{س}_{٢}} + \frac{١}{\text{س}_{٣}} + \frac{١}{\text{س}_{٤}}$$

$$= \frac{١}{٢} + \frac{١}{٨} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٤}$$

$$= \frac{٤}{٨} + \frac{١}{٨} + \frac{٢}{٨} + \frac{٢}{٨}$$

$$= \frac{٩}{٨ \ \mu \text{ف}}$$

$$\text{س}_{\text{إجمالية}} = \frac{٨}{٩} \ \mu \ \text{ف}$$

$$= ٠,٨٨ \ \mu \ \text{ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة ٠,٨٨ μ ف .

وإذا كانت الدائرة الكهربائية تشتمل على مواسعات لها نفس المواسعة موصلة على التوالى نستخدم الصيغة :

$$س_{إجمالية} = \frac{س}{ن}$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوالى .

مثـــال :

دائرة كهربائية تشتمل على ٦ مواسعات مواسعة كل منها ١٦ μ ف . موصلة على التوالى . فما المواسعة الإجمالية لهذه الدائرة ؟

المطلوب : $س_{إجمالية}$

الحـــل :

$$س_{إجمالية} = \frac{س}{ن}$$

$$س_{إجمالية} = \frac{١٦}{٦}$$

$$س_{إجمالية} = ٢,٦٧ \; \mu \; ف$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة هى ٢,٦٧ μ ف

١١ ٥ – الأنواع المختلفة للمواسعات :

للمواسعات تطبيقات كثيرة فى الدوائر الكهربائية ، وتنقسم من حيث تصميمها إلى :

- مواسعات مغلقة .
- مواسعات أنبوبية .
- مواسعات ألـواح .
- مواسعات ألواح دوارة أو مواسعات متغيرة .
- مواسعات تشذيب .

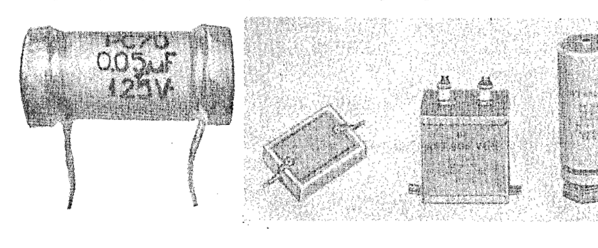
وعلى العموم فإن تصميم المواسع لا يعطى أى بيانات عن مواسعته ، ومتانة وسطه الكهربائى العازل ، ومقاومته لظروف الحرارة القاسية ، ونوع وسطه الكهربائى العازل وأبعاده الهندسية .

وتبعاً لنوع الوسط الكهربائى العازل ، فإنه يمكن تصنيف المواسعات إلى :

مواسعات هوائية .
مواسعات ميكا .
مواسعات خزفية .
مواسعات إلكترو ليتية .

والتطبيق المعطى يحكم ويختار التصميم ، والوسط الكهربائى العازل للمواسع ، على أساس التطبيق المطلوب . ومثال لذلك ، فإن المواسعات ذات المواسعة الصغيرة تعمل عادة كمواسعات خزفية ، لأن إنتاجها بهذا الشكل ، يكون أقل تكلفة من إنتاج المواسعات الورقية . وتبين الأشكال من (١٥٩) إلى (١٦٣) ، بعض تصميمات المواسعات .

وهناك تصنيف آخر للمواسعات بنى على طريقة تشغيلها ، ويميز بين المواسعات ذات المواسعة المتغيرة والمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة ، وبالاختصار بين المواسعات المتغيرة وغير المتغيرة .



الشكل ١٦٢ الشكل ١٦١ الشكل ١٦٠ الشكل ١٥٩

الشكل (١٥٩) مواسع خزفى
(VEB Keramische Werke Hermedorf GDR)
الشكل (١٦٠) مواسع إليكترو ليتى
الشكل (١٦١) مواسع ورق
الشكل (١٦٢) مواسع ميكا

شكل ١٦٣ : مواسع متغير
(حوالى ٥٠٠ بيكو فراد)

(ا) المواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة :

تصنع المواسعات غير المتغيرة لقيم معينة للمواسعة . واعتماداً على جودة المنتج ، ينص عادة على اختلاف قيمها عن هذه القيمة أو المقننات ، كنسبة مئوية ، وذلك بواسطة المنتج . علاوة على ذلك يزود المواسع ببطاقة مقننات ، تعطى معلومات عن المواسعة ، والجهد المقنن (وأحياناً جهد الاختبار أيضاً) وعلامة المنتج وتاريخ الإنتاج .

والجدول التالى يعطى حصراً للمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة الأكثر شيوعاً فى الاستخدام :

النوع	الشكل	الوسط الكهربائى العازل	البطانة	التطبيق
مواسع ورق	شكل مجمع ، أنبوبى ، أسطوانى	ورق مشبع بالبارافين ، ورق زيت .	رقيقة ألومنيوم ، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم .	هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ، مواسعات القدرة غير الفعالة فى هندسة التيار القوى
مواسع برقيقة من البلاستيك	أسطوانى ، طراز درفين	استيروفلكس	ألومنيوم	معدات القياس اللاسلكية
مواسعات ميكا	مكعبات	ميكا	فضة ، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم	أجهزة المعايرة والقياس التى تعمل بتيار متردد عالى التردد
مواسع إلكتروليتى	أسطوانى	أكسيد ألومنيوم ، هيدروكسيد ألومنيوم	ألومنيوم	مرشحات الموجة ، تسوية التيار المقوم ، المواسعات العالية ذات المساحة الصغيرة لاستعمال التيار المستمر فقط

مواسع خزفى	أنبوبى، على هيئة فنجـان	كاليت ، عـادة فضـة تمبـا ،ابسلان	هندسة الاتصالات اللاسلكية ، المواسعات ، ذات الاستقرار العالى ، استقرار الجهود العالية .

(ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة :

يمكن تغيير المواسعة المتغيرة فى نطاق مدى معين بواسطة نبائط ميكانيكية . وعادة ، تصمم هذه المواسعات على شكل مواسعات ألواح دوارة (الشكل ١٦٣) ، وتصنع من عدد من ألواح معدنية متوازية ثابتة موصلة ببعض وتكون لوحا واحدا من المواسع ، بينما تكون اللوح الآخر مجموعة أخرى من الألواح المتحركة الموصلة أيضا ببعض. وبتدوير عمود محور يمكن أن تتداخل المجموعة الثانية فى الأولى تداخلا كبيراً أو صغيراً . وتكون المساحة الفعالة للمواسع هى مسافة ذلك الجزء من الألواح المتداخل مع بعضه البعض فقط . ويشتمل الجدول التالى على قائمة للمواسعات المتغيرة الأكثر شيوعاً فى الاستخدام :

النوع	الوسط الكهربائى العازل	التطبيق
مواسع هوائى متغير	هـواء	دوائر موالفة التذبذبات
مواسع ورق متغير	ورق ، رقيقة البلاستيك	دوائر موالفة التذبذبات ، التغذية المرتجعة المعاد توليدها ، الوحدات الصغيرة المتضامة المعرضة للفقد الكبير .
مواسع تشذيب	عادة ، كوندنسان تمبا ، إبسلان	دوائر موالفة التذبذبات ، هندسة القياس بالترددات العالية.

الفصل الثانى عشر

التيـــار المتردد

كان الشرح والنصوص المتعلقة بالتقنينات الكهربائية العامة ، التى بينت فى الأقسام السابقة مقصورة على دوائر التيار المستمر . ومصادر الجهد التى استخدمت فى الأبحاث السابقة، كانت قبل كل شئ عبارة عن أعمدة جلفانية ، مثل المراكم أو أنظمة التغذية التى توزع جهدا مستمرا من مولدات . وعلى كل ، فالتيار المستمر له أهمية صغرى بالنسبة لمصادر الكهرباء العامة ، لأن كلا من نقل وتوزيع التيار المستمر ، يظهر مضارا لا توجد فى مصادر التيار المتردد . أما اليوم ، فإن أغلبية محطات القوى تولد جهدا مترددا ، كما أن التيار المتردد ينقل إلى كل مكان . والمستهلكون الذين يستخدمون تيارا مستمرا يحصلون عليه بتحويل التيار المتردد بواسطة معدات مناسبة .

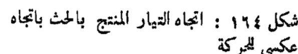
١|١٢ — التيـــار المتردد الجيبى :

(ا) تعريف فكرة التيـــار المتردد :

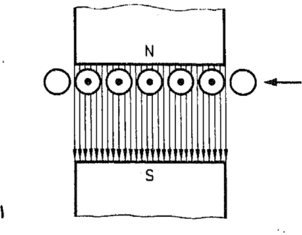
للبدء فى مناقشة التيار المتردد نشير إلى الشكل (١٢٦) ، عندما يمر موصل خلال مجـال مغنطيسى ، ينتج بالحث جهد يخضع اتجاه تياره لقاعدة اليد اليمنى ، وإذا كان الموصل خارج نطاق المجال المغنطيسى ، ينخفض الجهد إلى الصفر ، أى لا ينتج الجهد بالحث بعد ذلك ، وعليه لا يسرى تيار . وعندما يمر الموصل مرة ثانية عبر المجال المغنطيسى ، يسرى التيار فى اتجاه عكسى، ويبين ذلك بالشكل (١٦٤) .

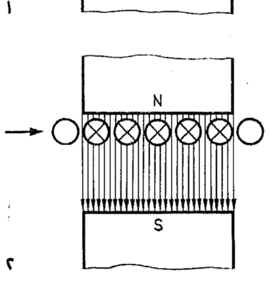
وإذا تحرك الموصل عبر المجال المغنطيسى ، موازيا لخطوط الفيض ، لا يحدث حث (الشكل ١٦٥) . ويعطى الشكل (١٦٦) إيضاحا للظاهرة التى تسبب سريان تيار عندما يتحرك موصل ذهابا وإيابا ، طبقا لما هو مبين بالشكل (١٦٤) . وعندما يؤخذ بالموصل عبر المجـال المغنطيسى ، تزداد شدة التيار بسرعة إلى قيمة تظل ثابتة ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى .

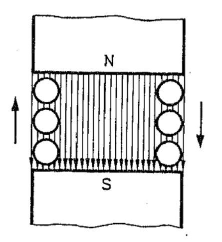
ويبين هذا بالجزء العلوى من المنحنى (١) من الشكل (١٦٦) . وعندما يؤخذ بالموصل مرة ثانية عبر المجال ، يزداد التيار مرة ثانية بسرعة ، إلى قيمة تظل كما هى ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى . وعلى كل فإنه يجب ملاحظة أن اتجاه التيار يكون عكس اتجاه التيار المنتج بالحث فى الحركة الأولى للموصل . كما هو مبين بالجزء السفلى من المنحنى (٢) بالشكل (١٦٦) .



شكل ١٦٤ : اتجاه التيار المنتج بالحث باتجاه عكسى للحركة
١ — اتجاه التيار عند التحرك من اليمين إلى اليسار .
٢ — اتجاه التيار عند التحرك من اليسار إلى اليمين .

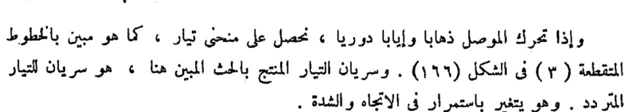






شكل ١٦٥ : عندما يتحرك الموصل فى هذا الاتجاه لا ينتج جهد بالحث

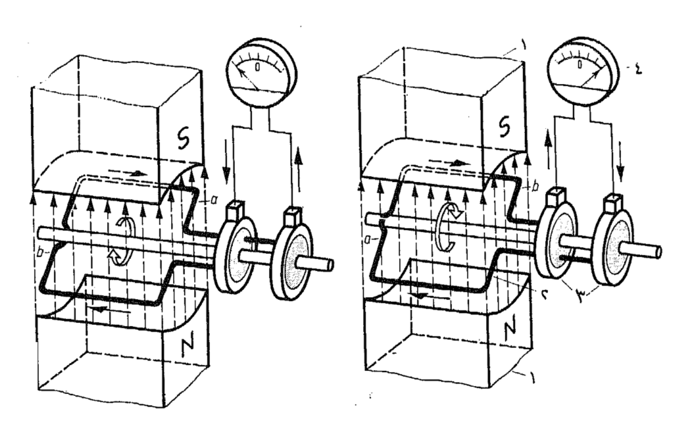
شكل ١٦٦ : اتجاه التيار المنتج بالحث عندما يتحرك الموصل دوريا ذهابا وإيابا عبر مجال مغنطيسى
١ — إتجاه التيار عندما يتحرك فى اتجاه واحد .
٢ — اتجاه التيار عندما يتحرك فى الاتجاه الآخر .
٣ — سريان التيار عندما يتحرك الموصل دوريا .



وإذا تحرك الموصل ذهابا وإيابا دوريا ، نحصل على منحنى تيار ، كما هو مبين بالخطوط المتقطعة (٣) فى الشكل (١٦٦) . وسريان التيار المنتج بالحث المبين هنا ، هو سريان للتيار المتردد . وهو يتغير باستمرار فى الاتجاه والشدة .

(ب) الحلقة الموصلة الدوارة فى المجـــال المغنطيسى :

يكون إنتاج جهد متردد بالحث ، بالطريقة المبينة أعلاه ، غير عملى من الناحية الصناعية ، بينما يكون توليد الجهد المتردد،على أساس الحركة الدورانية،له فوائده . ويبين الشكل (١٦٧) مثالا لنموذج لمولد تيار متردد يوضح كيفية إنتاج تيار متردد على النطاق التجارى .



شكل ١٦٧ : نموذج لمولد تيار متردد
١ – أقطاب مغنطيسية . ٣ – حلقة انزلاق .
٢ – حلقة مستطيلة بمقاطع ٤ – جهاز قياس .

شكل ١٦٨ :
وضع الحلقة بعد نصف دورة

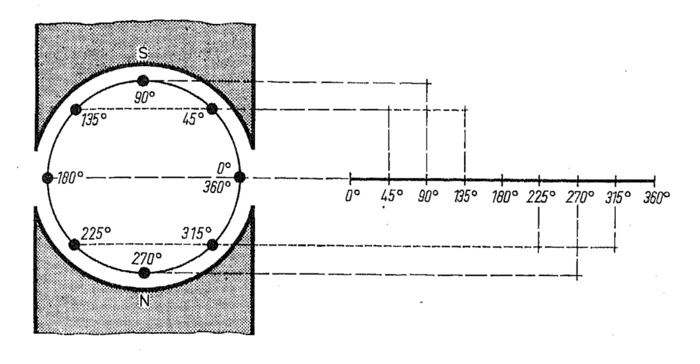
تصمم الأقطاب المغنطيسية ، بحيث تتحرك الأجزاء المتوازية (a ، b) من الحلقة على نفس البعد من السطح الكلى لهما . وعندما نلقى نظرة أقرب ، على مقطع الموصل (b) ، نجد أنه يتحرك تجاه الرائى ، بينما يتحرك مقطع الموصل (a) بعيدا عن الرائى . ويكون اتجاه سريان التيار فى الحلقة مبينا بالأسهم . ويبين فى الشكل رقم (١٦٨) نفس مولد التيار المتردد بعد تحرك الحلقة نصف دورة .

وعندما نلقى نظرة أقرب على مقطعى الموصل (a ، b) ، نجد أن اتجاه الحركة واتجاه التيار فى أحدهما يكونان عكس الآخر . وعندما تدور الحلقة فى نطاق المجال المغنطيسى ، بسرعة منتظمة ، يغير التيار الكهربائى اتجاهه مع كل دورة بمعدل منتظم . ويبين منحنى التيار الذى نحصل عليه بهذه الكيفية بالشكل (١٦٩) .

بتخيل الممر الدائرى ، المرسوم بواسطة مقطع الموصل أثناء دورانه ، نجد أنه يمر خلال الأوضاع : صفر° ، ٤٥° ، ٩٠° ، ١٣٥° ، ١٨٠° ، ٢٢٥° ، ٢٧٠° ، ٣١٥° و ٣٦٠° (وهذا الوضع الأخير يتطابق مع الوضع صفر°) ، المبينة على الدائرة فى الشكل (١٦٩) .

ويمكن حساب المسافة التى يقطعها مقطع الموصل فى دورة واحدة من :

ل = ط × ق



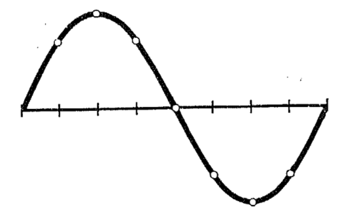
شكل ١٦٩ : توليد تيار له منحنى جيبى : أوضاع مقطع
الموصل مسقطة على خط مستقيم له أبعاد الممر الدائرى

حيث ل = طول المحيط .
ق = قطر الدائرة .
ط = النسبة التقريبية للدائرة .

توقع هذه المسافة على المنحنى قرب الدائرة وعلى مستوى مركزها، ويستدل على نقطة البداية بالرقم صفر ، وعلى نقطة النهاية بالرقم ٣٦٠° . ويمكن التعبير عن أى قسم بين هذه النقط بالآتى :

$$\frac{١}{٨} \text{ ق} \times \text{ط}$$

وهذا يساوى الفرق الزاوى لوضع ٤٥° . وعند إسقاط أوضاع الموصل (بدءا بالوضع ٤٥°) نحصل على نقط أعلى وأسفل الخط المستقيم . وتوصل هذه النقط بمنحنى يمر بها (الشكل ١٧٠) . ويمكن استنتاج ما يلى ، من هذا المنحنى للتيار :



شكل ١٧٠ : توليد تيار له منحنى
جيبى مرسوم عبر النقط المسقطة

١ – يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع صفر°) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٩٠°).

٢ – ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٩٠°) إلى قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠°).

٣ – يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠°) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٢٧٠°) متخذا اتجاها عكسيا.

٤ – ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٢٧٠°) إلى قيمة الصفر (عند وضع ٣٦٠°).

ويسمى التيار المسار بين الوضعين صفر° ، ١٨٠ «بالتيار الموجب». ويسمى التيار المار بين ١٨٠° ، ٣٦٠° «بالتيار السالب». وعلى ذلك يكون لمنحنى التيار الجيبى: قيمة قصوى موجبة ، وقيمة قصوى سالبة. وعند مقارنة الشكل (١٦٤) والشكل (١٦٥) بالمنحنى المبين فى الشكل (١٧٠) يمكن ملاحظة الآتى: يتحرك مقطع الموصل عموديا على خطوط المجال خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد بين ٩٠° ، ٢٧٠°. وفى هذين الوضعين ، وخلال هاتين الفترتين ، ينتج بالحث أعلى جهد ، وبالتالى أعلى شدة للتيار. ويكون اتجاه حركة مقطع الموصل موازيا لخطوط المجال فقط خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد عند صفر° / ٣٦٠° ، ١٨٠°. وفى هذه الفترات لا ينتج جهد بالحث.

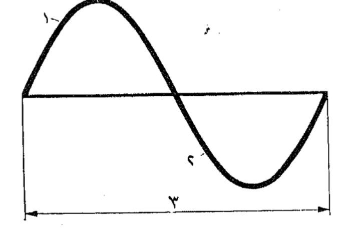
٢/١٢ – كميات لتعيين التيـــار المتردد :

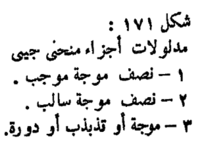
(ا) الموجـــة والدورة :

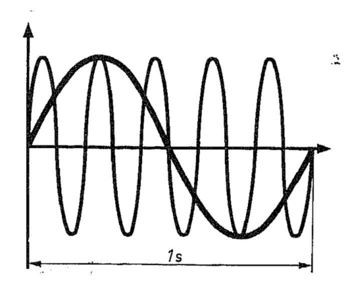
لمنحنى التيار المتردد المبين فى الشكل (١٧٠) بضع خصوصيات. ويسمى المنحنى الذى ينتج خلال دورة واحدة لمولدات التيار المتردد «موجة واحدة أو تذبذب واحد» وتتكون الموجة من نصفى موجة أحدهما موجب (+) والنصف الآخر سالب (–).

وينتج خلال الدورة الثانية للحلقة فى المولد منحنى تيار آخر ، يشابه الأول. تكرر هذه الدورة دوريا أثناء تحرك حلقة الموصل. لذلك تسمى أيضاً الموجة الواحدة أو التذبذب الواحد «دورة» أو «موجة كاملة».

يبين الشكل (١٧١) أجزاء المنحنى ومدلولاتها :




شكل ١٧١ :
مدلولات أجزاء منحنى جيبى
١ – نصف موجة موجب .
٢ – نصف موجة سالب .
٣ – موجة أو تذبذب أو دورة.



شكل ١٧٢ :
تمثيل الترددات ١ هيرتز ، ٥ هيرتز

(ب) التردد والـــدورة :

لحساب عدد مرات إنتاج موجة فى وحدة زمن مثل دقيقة واحدة ، يجب الأخذ فى الاعتبار المعدل الذى تدور به الحلقة المستطيلة من السلك ، ويتوقف الاستخدام الاقتصادى للتيار المتردد التجارى على عدد معين من الموجات فى وحدة زمن . ويستخدم التعبير « تردد » لوصف عـــدد الدورات لـكل ثانية ، لتيار متردد أو جهد متردد . ويعرف التردد على أنه عدد الدورات فى الثانية (إختصاراً د فى ث أو د/ث) . ووحدة أخرى للتردد هى الهيرتز التى تساوى دورة واحدة فى ثانية واحدة .

الكمية	الرمز	الوحـــدة	الاختصار
التردد	د	هيرتز	هز

وسميت وحدة الدورة فى الثانية بالهيرتز نسبة إلى عالم الطبيعيات الألمـــانى هاينريخ هيرتز Heinrich Hertz ، (من ١٨٥٧ إلى ١٨٩٤) . والهيرتز هو دورة واحدة فى الثانية ، أى أن :

$$١ \text{ هيرتز } = \frac{١}{\text{ث}} \text{ أو } ١ \text{ هز } = ١ \text{ ث}^{-١}$$

ويبين الشكل (١٧٢) الفرق بين تيارين يسريان خلال وحدة زمن مقدارها ثانية واحدة . وفى الشكل المذكور ، يبين المنحنى السميك موجة منتجة عن دورة واحدة ، لحلقة المولد فى ثانية واحدة ، بينما يبين المنحنى المرسوم بخط مستمر ، دوران الحلقة ٥ دورات فى الثانية . وفى هذه الحالة ، يكون مقدار هذا التردد ٥ هيرتز .

وفى الهندسة الـكهربائية ، تستخدم ترددات مختلفة . ولذلك ، تستخدم عادة ترددات ذات قيمة مضاعفة لقيمة الوحدة الأساسية ، مثل :

١ كيلو هيرتز = ١٠٠٠ هيرتز = $١٠^{٣}$ هز

١ ميجا هيرتز = ١٠٠٠٠٠٠ هيرتز = $١٠^{٦}$ هز

وتبين القائمة التالية بعض أمثلة للترددات المستخدمة :

تيار متردد تجارى	٥٠ هز
تيار متردد لعمليات السكك الحديدية	$\frac{٢}{٣}$ ١٦ هز
النداء بدق الجرس فى هندسة الاتصالات	٢٥ هز
مرسل موجة متوسطة مثلا	١٠٥٠ هز
مرسل موجة قصيرة مثلا	٩,٥ ميجا هز
مرسل موجة تردد عالى جدا (مثلا)	٨٩,٦ ميجا هز
مرسل تليفزيون مثلا ، صوت	٦٥ ميجا هز
، صورة	٥٩ ميجا هز

وإذا وجب تحديد زمن الدورة ز لدورة ما ، فإنه يحسب من مقلوب التردد ، وعليه فان :

$$\text{الدورة} = \frac{١}{\text{للتردد}}$$

$$ز = \frac{١}{د}$$

مثـــال :

ما دورة التردد المستخدم فى عمليات السكك الحديدية ؟

المعطيات : د = $\frac{٢}{٣}$ ١٦ هز

المطلوب : ز

الحـــل :

$$ز = \frac{١}{د} \text{ ، } ز = \frac{١}{١٦\frac{٢}{٣}} = \frac{١}{١٦,٦٦}$$

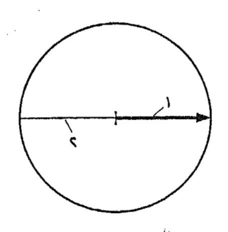
ز = ٠,٠٦ ث .

(ج) التردد الــزاوى :

فى بعض الحالات ، يربط النص على الترددات بالسرعة الزاوية . وهذا يعرف بأنه الزاوية التى يتحرك خلالها مؤشر فى وحدة زمن ما (الشكل ١٧٣) . و إذا كان نصف قطر الدائرة المرسومة بواسطة المؤشر (أو حلقة من سلك موصل) يساوى واحدا ، يكون محيط هذه الدائرة هو ٢ ط .

والتردد الزاوى ω (أوميجا) للتيار المتردد يساوى ٢ ط مضروبا فى التردد د. وعليه فان :

$$ω = ٢ \text{ ط د}$$



شكل ١٧٣ : التردد الزاوى
١ – مؤشر .
٢ – نصف قطر الدائرة .

مثـــال :

ما التردد الزاوى لتيار متردد له $١٦ \frac{٢}{٣}$ هز ؟

المعطيات : د = $١٦ \frac{٢}{٣}$ هز

المطلوب : التردد الزاوى ω

الحـــل :

$$\omega = ٢ \text{ ط د } ، = ٢ \times ٣,١٤ \times \frac{٥٠}{٣}$$

$$= ١٠٤,٧ \text{ ث}^{-١}$$

التردد الزاوى لهذا التيار ١٠٤,٧ $\text{ث}^{-١}$

(د) طـــول الموجـــة :

تشتمل البيانات المتعلقة بالمعـــدات المستخدمة فى هندسة الاستقبال والنقل عادة على معلومات حول طول الدورة (الموجة) ، معبرا عنها بالمتر أو بوحدة مشتقة منها . ويعرف طول الموجة λ (لامدا) بأنه طول موجة معبرا عنه بوحدة الطول . وللمساعدة فى تفهم العلاقة بين طول الموجة والتردد، نرجع إلى سرعة الامتداد – الانتشار (الفصل الثالث) . وكما قيل من مثل فى هذا المجال، تنتشر الكهرباء بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر/ث . ويمكن كتابة ذلك أيضا كما يلى :

$$٣٠٠٠٠٠ \text{ كيلومتر/ث} = ٣ \times ١٠^{٥} \text{ كيلومتر/ث} = ٣ \times ١٠^{٨} \text{ متر/ث}$$

وعندما نربط سرعة الامتداد بالتردد ، نحصل على طول الموجة وهو :

$$\text{طول الموجة} = \frac{٣ \times ١٠^{٨} \text{ متر/ث}}{\text{التردد}}$$

$$= \frac{٣ \times ١٠^{٨} \text{ متر/ث}}{\text{د}}$$

مثـــال :

المعطيات : ما طول الموجة لتيار متردد تجارى ؟

د = ٥٠ هز

ع = ٣ × ١٠ ٨ متر/ث

المطلوب : λ

الحــل :

$$\lambda = \frac{ع}{د} ، = \frac{3 \times 10^{8}}{50} = 6000000 \text{ متر}$$

= ٦٠٠٠ كيلومتر

طول الموجة لتيار متردد تجارى ٦٠٠٠ كيلومتر .

إذا عبر عن الترددات بالكيلوهيرتز (كيلو هز) أو بالميجا هيرتز (ميجا هز) ، فينصح أولا بتحويل سرعة الامتداد إلى وحدة مناسبة .

إذا عبر عن التردد بالكيلوهيرتز ، وجب التعبير عن السرعة 3×10^{5} كيلومتر/ث

إذا عبر عن التردد بالميجا هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة 3×10^{2} ميجا متر/ث

مثـــال :

ما طول الموجة لمرسل يعمل بتردد ١٠٥٠ كيلو هيرتز ؟

المعطيات : د = ١٠٥٠ كيلو هيرتز

ع = 3×10^{5} كيلو متر/ث

المطلوب :

الحــل :

$$= \frac{ع}{د}$$

$$= \frac{3 \times 10^{5}}{1050} = 285{,}7 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو ٢٨٥٫٧ متر .

مثـــال :

ما طول الموجة لمرسل يعمل بتردد ٦٠ ميجا هيرتز ؟

المعطيات : د = ٦٠ ميجا هيرتز

ع = 3×10^{2} ميجا متر/ث

المطلوب : λ

الحل :

$$\gamma = \frac{ع}{د}$$

$$= \frac{٣ \times ١٠^{٢}}{٦٠}$$

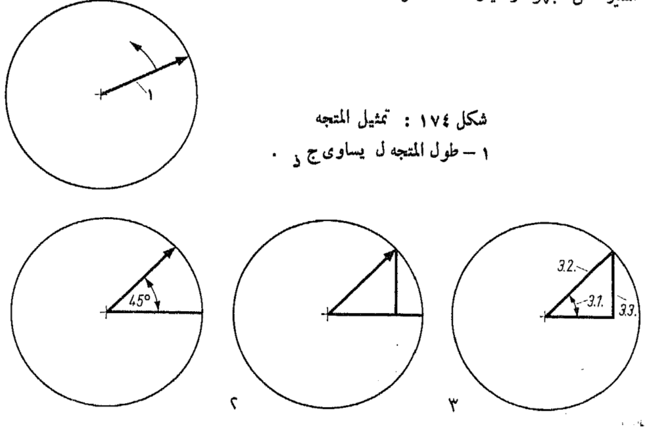
= ٥ متر

طول الموجة لهذا المرسل هو ٥ متر

(ه) قيم الذروة ، والقيم اللحظية ، للجهد المتردد والتيار المتردد :

عندما أوضحنا المنحنى الجيبى للتيار المتردد (الشكل ١٧٠) ، لاحظنا قيمتين قصويين (عند وضع ٩٠°، ٢٧٠°) وقيمتى صفر (عند وضع صفر° / ٣٦٠°، ١٨٠°) . وعلى كل حال ، فإن أداء مصباح متوهج موصل بنظام تغذية للتيار المتردد التجارى العادى لا يظهر أى زيادة أو إنخفاض فى شدة التيار أو الجهد . وبالمثل ، لا يدور محرك كهربائى موصل بمصدر تيار متردد ، بسرعة منخفضة أو عالية ، تبعا لدورية حث التيار .

ويمكن فهم هذه الحقيقة ، على غرابتها ، بوصف خصوصيات الجهود والتيارات المترددة المميزة عن الجهود والتيارات المستمرة .



شكل ١٧٤ : تمثيل المتجه

١ – طول المتجه ل يساوى ج ذ .

شكل ١٧٥ : دالة جيب فى دائرة التيار المتردد

١ – وضع المتجه عند ٤٥°

٢ – إسقاط عمود

٣ – وصف المثلث

١/٣ زاوية ∝ : ٤٥°

٢ ٣ الوتر .

٣/٣ المقابل

تمثيـــل المتجـــه :

يبين الشكل (١٧٤) دائرة كهربائية مناظرة ، يمكن أن يدور فيها متجه فى عكس عقارب الساعة . لنفرض أن طول المتجه يساوى جهدا أقصى . تسمى هذه القيمة بقيمة الذروة $ج_ذ$ ،

تبلغ قيمة الجهد قيمة الذروة مرتين ، خلال دورة واحدة للمتجه (عند وضع ٩٠° ، ٢٧٠°) . يبين الشكل (١٧٥) وضع المتجه عند ٤٥° . عند هذا الوضع لمقطع الموصل على الممر الدائرى ، ينتج بالحث جزء معين من قيمة الذروة للجهد . ويمكن تحديد قيمة هذا الجزء من الشكل (١٧٥–٢) وعند رسم عمود من نقطة رأس السهم على المستوى ، نحصل على مثلث قائم الزاوية (الشكل ١٧٥ – ٣) ودالة الجيب .

$$\text{جيب } \propto = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} \text{ للمثلث .}$$

(و) تعيين القيمة اللحظية :

يسقط عمود فى كل من المدى الموجب والمدى السالب ، بحيث نحصل على مثلث قائم الزاوية . وعلى كل ، فإنه لا يمكن تطبيق ذلك على أوضاع المتجه عند صفر° ، ٩٠° ، ١٨٠° ، ٢٧٠° ، ٣٦٠° .

وفى هذه الحالات لا يمكن تكوين مثلث للاستطراد فى هذا الشرح . نفرض أن قيمة الذروة للجهـــد $ج_ذ$ هى ٣١١ فلط .

يمكن حساب الجهد عند وضع ٤٥° من دالة الجيب . جيب $\propto$ × الوتر . وعليه يمكن كتابة القيمة اللحظية ج = جيب $\propto$ × $ج_ذ$.

وتعطى قيمة جيب ٤٥° فى الجداول ، وهى ٠,٧٠٧ بحيث نجـــد :

ج = ٠,٧٠٧ × ٣١١ فلط ، ج = ٢٢٠ فلط وتكون القيمة اللحظية ج لجهد متردد بقيمـــة ذروة $ج_ذ$ = ٣١١ فلط ، وهى ٢٢٠ فلط عندما يكون وضع حلقة الموصل عند ٤٥° .

مثـــال :

إذا كانت قيمة الذروة لجهد متردد ٥٣٨ فلط فما القيمة اللحظية عندما يكون المتجه عند ٣٠° ؟

المعطيات : $ج_ذ$ = ٥٣٨ فلط .

جيب ٣٠° = ٠,٥

المطلوب : ج

الحــل :

$$ج = جيب ٣٠° \times ج_{ذ}$$

$$= ٠٫٥ \times ٥٣٨$$

$$= ٢٦٩ \text{ فلط}$$

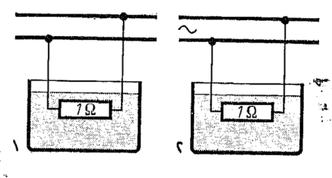
القيمة اللحظية لهذا الجهد ٢٦٩ فلط .

(ز) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيــار المتردد :

يبين الشكل (١٧٦) ترتيبتين لدائرتين تساعدان فى تعيين الشغل ش الذى يبذله تيار كهربائى . فى الحالة الأولى ، يوصل مقاوم قيمته ١ Ω ، فى دائرة تيار مستمر . ولنفرض أن قيمة الذروة لهذا التيار المستمر ت = ٣ مب .

وفى الحالة الثانية ، يستخدم مصدر للجهد المتردد . يفترض أن تيارا بقيمة ذورة $ت_{ذ}$ = ٣ أمبير ، يبذل شغلا فى مقاومة قيمتها ١ Ω . ويمكن إيجاد الشغل الذى تبذله التيارات بواسطة أجهزة قياس الحرارة .

ويمكن بمساعدة ترتيبات دائرية مثل هذه ، وأجهزة قياس مناسبة ، إجراء اختبارات تبين أن للشغل المبذول بواسطة التيار المستمر ، قيمة أعلى اعتباريا من الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد تحت نفس الشروط المعطاة . وسيناقش سبب وجود هذا الفرق والعلاقة بين هذين الشكلين للشغل فيما بعد .



شكل ١٧٦ : هذا الشكل يساعد فى تبيان الشغل الذى يبذله التيار ش
١ — الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر .
٢ — الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد .

وفى الجزء الأول ، الفصل الثامن وجد أن شغل تيار كهربائى (فى دوائر التيار المستمر) يساوى :

$$ش = ج \times ت \times ز$$

وحيث أن ج = ت × م ، فإننا نحصل على

ش = ت × م × ت × ز أو

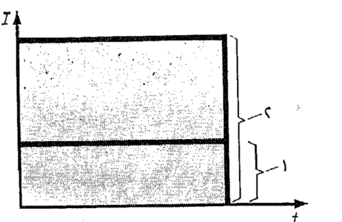
ش = ت^{٢} × م × ز

فى هذا المثال ، اختيرت مقاومة م قيمتها ١ أوم ، وحيث أن العامل ١ ليس له تأثير على التطور المطرد فيمكن إهماله ، وعليه :

ش = ت^{٢} × ز

ويمكن الحصول على التمثيل التخطيطى للشغل ش، المبذول بواسطة التيار المستمر ، تحت نفس الشروط المعطاة بشكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٧) . وبالمثل فإنه يمكن تمثيل الشغل المبذول ، بواسطة التيار المتردد ، تحت نفس الشروط المعطاة ، فى شكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٨) . فى هذا المنحنى ، تكون مساحة نصف الموجة السالب أيضا أعلى محور الزمن حيث أن :

$$- ت_{ذ} \times - ت_{ذ} = + ت^{٢}_{ذ} .$$

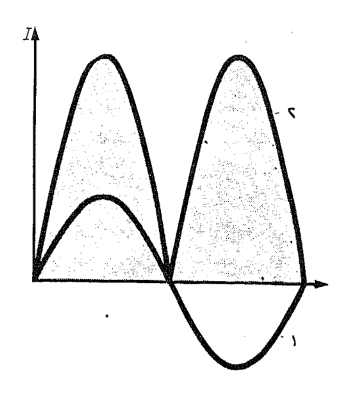


شكل ١٧٧ :
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر
١ – $ت_{ذ}$ = ٣ أ
٢ – $ت^{٢}_{ذ}$ = ٩ أ

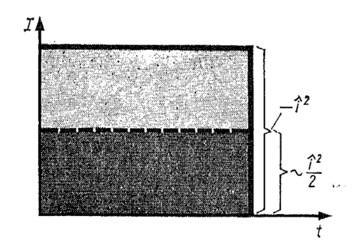
وعند تكوين مساحة مستطيلة من المساحة المحاطة بخطوط كونتور فى هذا المنحنى ، يكون من الواضح أن المساحة المستطيلة التى يحصل عليها بهذه الكيفية تكون أصغر ، بقيمة معينة ، من المساحة المستطيلة ، التى تمثل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر (الشكل ١٧٨) . وقد بينت هاتان المساحتان فى منحنى واحد للمقاومة فى الشكل (١٧٩) .

من هذه المقارنة يمكن استنباط الخلاصات الآتية :

١ – يكون الشغل المبذول بواسطة تيار متردد هو $\frac{ت^{٢}_{ذ}}{٢}$ ، عند نفس قيمة الذروة $ت_{ذ}$



شكل ١٧٨ :
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد
١ – منحنى $ت_ذ$ جيبي .
٢ – منحنى $ت^٢_ذ$ جيبي .



شكل ١٧٩ :
مقارنة بين نوعي الشغل عند
نفس القيمة القصوى للتيار $ت_ذ$

٢ – لأداء نفس الشغل ، كما هو الحال بالنسبة للتيار المستمر بقيمة $ت_ذ$ ، يجب أن تكون قيمة التيار المتردد هي $\sqrt{٢} \times ت_ذ = ١,٤١٤ \times ت_ذ$.

٣ – يسمى التعبير $\frac{ت^٢_ذ}{٢}$ بمربع القيمة المتوسطة أو القيمة الفعالة للتيار المتردد ، ومن هذا يلي :

$$ت^٢ = \frac{ت^٢_ذ}{٢} \quad ، \quad ت = \frac{ت_ذ}{\sqrt{٢}} \quad ، \quad ت = ٠,٧٠٧ \times ت_ذ$$

٤ – بالمثل فبالنسبة للجهد المتردد نجد :

$$ج^٢ = \frac{ج_ذ^٢}{٢} \text{ ، } ج = \frac{ج_ذ}{\sqrt{٢}} \text{ ، } ج = ٠,٧٠٧ \times ج_ذ$$

٥ – من هذا ، تعين قيمة الجهد وشدة التيار فى شكل العلاقة :

$$ج_ذ = \sqrt{٢} \times ج = ١,٤١٤ \times ج$$

$$ت_ذ = \sqrt{٢} \times ت = ١,٤١٤ \times ت$$

تكون القيمة الفعالة لجهد وشدة تيار جيبيين متغيرين هى ٠,٧٠٧ مضروبا فى قيمة الذروة للجهد أو شدة التيار .

بهذه التعاريف لقيمة الذروة ، والقيمة اللحظية ، والقيمة الفعالة لجهد وشدة التيار المتردد ، أهمية عملية فى بناء مولدات التيار المتردد . وعلى سبيل المثال لا الحصر فى الحياة العملية ، تنسب قيم الجهود المترددة والتيارات المترددة إلى القيم الفعالة للكميات المناظرة لها .

١٢/٣ – المقاومات الأومية ، والحثية ، والسعوية فى دائرة التيار المتردد :

(ا) المقاومات الأومية فى دائرة التيار المتردد :

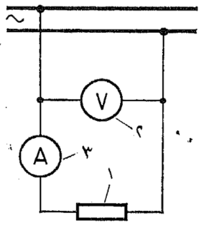
لقد وصفنا فى القسم الأول – الفصل السادس ، فى مجال الحديث عن المقاومات ، بضع مقاومات (مقاومات من السلك الملفوف ، مقاومات كربونية ، مقاومات متغيرة) ويتبع تصرف هذه المقاومات فى دائرة التيار المستمر قانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كان مثل هذا المقاوم ، سيتبع قانون أوم ، أيضا ، أم لا ، عندما يوصل فى دائرة تيار متردد . وكما سبق ذكره تبين أجهزة القياس الشائعة الاستخدام قيما فعالة للجهد المتردد والتيار المتردد . وإذا وصل مقاوم من النوع المبين أعلاه ، فى دائرة تيار متردد ، نجد أن تصرفه يطابق قانون أوم أيضا (الشكل ١٨٠) .

تسمى المقاومات فى دائرة التيار المتردد ، التى تتبع قانون أوم ، بالمقاومات الفعالة .

(ب) المقاومات الحثية فى دائرة التيار المتردد :

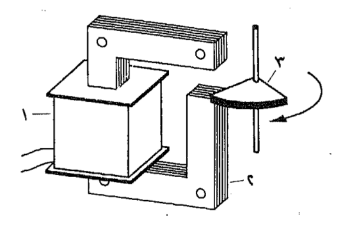
تعرف المقاومات الحثية بالمقاومات التى تحكمها قوانين الحث الذاتى (القسم الأول – الفصل العاشر) . والتعبير العام لنبيطة أو عنصر دائرة كهربائية له محاثة هو « ملف محاث »

لأن المقاومات الحثية تسمى أيضا « المحاثات » . مثل ملفات المحاثة هذه تكون مغنطيسيات كهربائية ، أو ملفات بقلب حديد أو بدونه ، أو لفيفات فى محركات ، أو مولدات كهربائية . وتشير المناقشة التالية إلى ملف كابح للتيار ، مزود بقلب حديد ، يمكن ضبطه . وهذا الملف يكون عبارة عن ملف محاثة ، لأن له محاثة . ويمكن تغير الحث المغنطيسى له بواسطة القلب الحديد . والملف الكابح عبارة عن عينة ممثلة لكل الأنواع الأخرى من ملفات المحاثة (الشكل ١٨١) .



شكل ١٨٠ : قياس الجهد وشدة التيار فى دائرة تيار متردد

١ – مقاومة أومية . ٢ – فلطمتر . ٣ – أميتر .



شكل ١٨١ : ملف متغير كابح للتيار

١ – ملف .

٢ – قلب حديد .

٣ – نبيطة ضبط (لتغيير ثغرة الهواء) .

(ج) تصرف ملفات المحاثة فى دائرة التيار المستمر :

يبين الشكل ١٨٢ ترتيبة لدائرة تشتمل على مصباح متوهج ، وملف كابح للتيار ، موصلين على التوالى . توصل هذه الدائرة بمصدر جهد مستمر . يفترض أن المقاومة الأومية لعنصرى الدائرة معروفة . عند تشغيل ترتيبة الدائرة هذه ، يفترض أن يكون الجهد وشدة التيار بحيث يضئ المصباح المتوهج . عندما تنخفض شدة التيار والجهد عبر عنصرى الدائرة نجد أن عناصر الدائرة تتصرف طبقا لقانون أوم . وفى هذه الحالة ، يتصرف أيضا الملف الكابح للتيار طبقا لقانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كانت قيمة الحث تبذل تأثيرا خاصا على تصرف الملف الكابح للتيار فى دائرة التيار المستمر . عندما يتغير الحث المغنطيسى للملف الكابح للتيار ، فى دائرة كهربائية مقفلة ، أى عندما تخفض أو تزاد ثغرة الهواء ، بواسطة قطعة الحديد المتحركة ، يستمر المصباح المتوهج فى الإضاءة دون تغير .

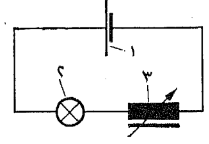
إذا احتوت دائرة تيار مستمر على ملف محاثة ، فتكون مقاومته الأومية فقط هى فعالة .

(د) تصرف ملفات المحاثة فى دائرة التيـــار المتردد :

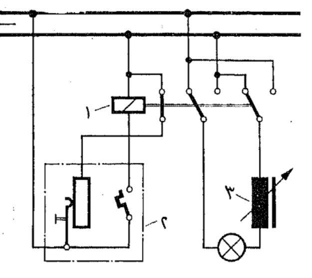
فيما يلى وصف لترتيبة اختبار ، يمكن بمساعدتها ملاحظة تصرف ملفات المحاثة فى دائرة التيار المتردد .

وفى هذا المجال ، يجب ملاحظة أنه يمكن تشغيل جهاز كهربائى موصل فى دائرة تيار مستمر ، بواسطة مفتاح كهربائى يسمى مغير القطب ، بكيفية ما بحيث يتغير اتجاه التيار المـار فى الجهاز دوريا .

يبين الشكل (١٨٣) ترتيبة دائرة تحتوى على مفتاح كهربائى حرارى ، ومتابع ، وملف كابح للتيار المتغير ومصباح متوهج . ويشبه أساس تصميم المفتاح الكهربائى الحرارى التصميم الخاص بوحدة وماضة لمبين الاتجاه بالضوء المستخدم فى السيارات . ويشتمل المفتاح الكهربائى على مقاوم تسخين متغير ، مصمم لضبط التردد فى نطاق المدى من ١ إلى ٢ هز . وعندما تغذى ترتيبة الدائرة هذه ، يسخن مقاوم التسخين للمفتاح الكهربائى الحرارى . وتبعا لذلك يقفل المفتاح ، ويشغل المتابع . فى هذه اللحظة ، يعكس اتجاه التيار عبر المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار المتغير ، وفى نفس الوقت تقطع التوصيلة إلى المفتاح الكهربائى الحرارى ويشغل المتابع .



شكل ١٨٢ : تصرف ملف كابح للتيار فى دائرة تيار مستمر
١ — مصدر للجهد .
٢ — مصباح متوهج .
٣ — ملف متغير كابح للتيار .



شكل ١٨٣ :
ترتيبة تبين تصرف ملفات المحاثة فى دوائر التيار المتردد
١ — متابع .
٢ — مفتاح كهربائى حرارى .
٣ — مصباح متوهج وملف متغير كابح للتيار .

تعاد نفس الدورة ، عندما يشغل المتابع تقفل ملامسات المفتاح الكهربائى الحرارى ، ويغذى المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار بتيار ذى اتجاه عكسى . يعطى الجدول التالى شروط الاختبار التى تشغل تحتها ترتيبة الدائرة هذه وكذلك النتائج التى يحصل عليها :

شروط الاختبار	النتيجة
تردد ١ هز ثغرة الهواء حرة	يشع المصباح ضوءا خافتا ، بمقارنته بالضوء الذى يشعه المصباح عند تشغيله بالتيار المستمر .
تردد ١٫٥ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه فى الحالة السابقة .
تردد ٢ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١٫٥ هز
تردد ١ هز نصف ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ، ثغرة الهواء حرة .
تردد ١ هز ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ونصف ، ثغرة الهواء مقفلة .

ومن هذا يستخلص الآتى :

١ – تزداد المقاومة بازدياد التردد فى دائرة التيار المتردد التى تحوى ملفات محاثة .

٢ – تزداد أيضا المقاومة إذا ازداد الحث المغنطيسى للملف فى دائرة تيار متردد .

إلى جانب المقاومة الفعالة لدائرة تيار متردد ، يمكن حدوث مقاومة ناتجة عن ملفات المحاثة فى هذه الدائرة . تسمى المقاومة الأخيرة « المفاعلة الحثية » .

محـــاثة ملف :

فيما يتعلق بمناقشة الحث الذاتى (القسم الأول – الفصل العاشر) ، يمكننا ملاحظة أن طاقة كهربائية تنتج بالحث فى الملفات ، ويكون اتجاهها الفعال عكس الاتجاه الفعال للطاقة المولدة لها .

وإذا تغيرت شدة التيار فى ملف بمقدار أمبير واحد ، فى دقيقة واحدة ، وإذا أنتج بالحث فى نفس الوقت جهد قيمته فلط واحد فى هذا الملف ، يكون للملف محاثة قيمتها

$$\frac{\text{١ فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{و ب}}{\text{مب}}$$

ووحدة المحاثة $\frac{\text{١ و ب}}{\text{مب}}$ تسمى هنرى نسبة إلى عالم الطبيعيات ج . هنرى (J .Henry) (١٧٩٧ - ١٨٧٨) .

$$\text{١ هنرى} = \text{١} \; \frac{\text{و ب}}{\text{مب}}$$

ورمز المحادثة هو ح

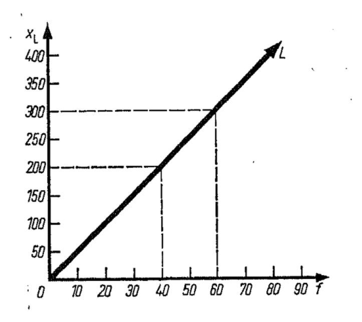
المفاعلة الحثية وتعيينها : يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة الحثية مف للملف ماهى حاصل ضرب التردد الزاوى ω فى المحاثة ح ، وعليه فإن :

$$\text{مف}_{\text{ح}} = \omega \times \text{ح}$$

ونحصل على وحدة المفاعلة الحثية مف$_{\text{ح}}$ من

$$\frac{\text{١}}{\text{ث}} \times \frac{\text{و ب}}{\text{مب}} = \frac{\text{١}}{\text{ث}} \times \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{فل}}{\text{مب}} = \Omega$$

ويبين الاعتماد التبادلى بين التردد الزاوى ، والمحاثة ، والمفاعلة الحثية بالشكل (١٨٤) . ومحاثة الملف المستخدمة فى هذا الاختبار هى ٥ هنرى .



شكل ١٨٤ : العلاقات المتبادلة بين
ω ، X_L ، L

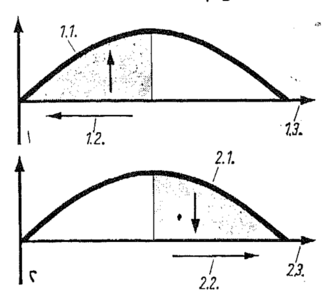
حيث ω = السرعة الزاوية للتردد .

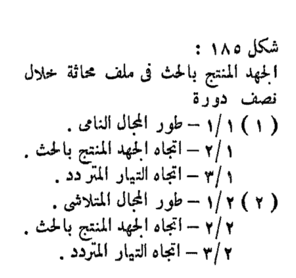
X_L = مف$_{\text{ح}}$ = المفاعلة الحثية .

L = ح = الحث .

المحـــاثة والعلاقة المؤقتة بين الجهد والتيـــار :

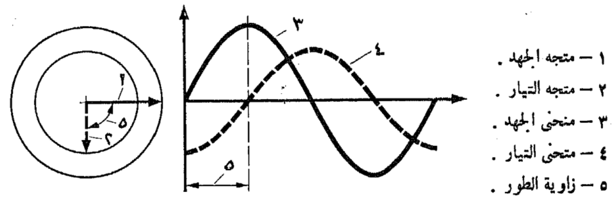
لقد نوقش تصرف ملف فى دائرة تيار مستمر على أساس الحث الذاتى ، ويفسر هنا تأثير الحث الذاتى على الجهد المتردد والتيار المتردد :




شكل ١٨٥ :
الجهد المنتج بالحث فى ملف محاثة خلال نصف دورة
(١) ١/١ — طور المجال النامى .
١/٢ — اتجاه الجهد المنتج بالحث .
١/٣ — اتجاه التيار المتردد .
(٢) ٢/١ — طور المجال المتلاشى .
٢/٢ — اتجاه الجهد المنتج بالحث .
٢/٣ — اتجاه التيار المتردد .

يبين الشكل (١٨٥ — ١) تكوين المجال المغنطيسى لملف محاثة ، واتجاه القوى الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، بينما يبين الشكل (١٨٥ — ٢) خبو هذا المجال ، واتجـاه القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، خلال نصف موجة . وإذا ضمت لدائرة كهربائية ملفات محاثة خارجية (وهذا لا يحدث فى الحياة العملية) ، فيمكن بسهولة شرح الظاهرة التى تحدث فى دائرة تيار متردد، والمبينة فى الشكل (١٨٥)، ولا يمكن زيادة جهد متردد مسلط للملف محاثة بين الوضعين صفر° ، ٩٠° إلى درجة كما هو الحال إذا حملت الدائرة بمقاومات فعالة .

ونتيجة للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث التى يكون اتجاهها ، عكس اتجاه الجهـد المتردد ، يكون الأخير متعادلا ولو جزئيا . وحيث أنه لا يمكن أن يسرى تيار كهربائى ، دون وجود فرق جهد ، فيسرى التيار فى هذه الحالة فقط إذا انخفض الجهد المتردد فى الوضعين بين ٩٠° إلى ١٨٠° إلى الصفر . ويكون للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث نفس اتجـاه الجهد المتردد . ويضاف كلا الجهدين ويعملان بحيث ، يظهر جهد منتج بالحث عند جهد متردد قيمته صفر ، وبهذه الكيفية يمر تيار ويصل الجهد المتردد المسلط إلى قيمة الصفر ويغـير اتجاهه .



١ — متجه الجهد .
٢ — متجه التيار .
٣ — منحنى الجهد .
٤ — منحنى التيار .
٥ — زاوية الطور .

شكل ١٨٦ : فرق الطور بين الجهد والتيار فى حالة حمل حثى بحت

يسمى الفرق المؤقت بين الجهد والتيار « إزاحة الطور » أو « فرق الطور » (الشكل ١٨٦) ويعبر عن قيمة فرق الطور بزاوية الطور ξ .

إذا كانت هناك ملفات محاثة فى دائرة تيار متردد ، يحدث فرق مؤقت بين ظهور الجهد والتيار . ويقال عن التيار الذى يظهر متأخرا بأنه متخلف فى الطور .

(ﻫ) المفاعلات السعوية فى دائرة التيار المتردد :

تصرف المواسعات فى دائرة التيـــار المستمر :

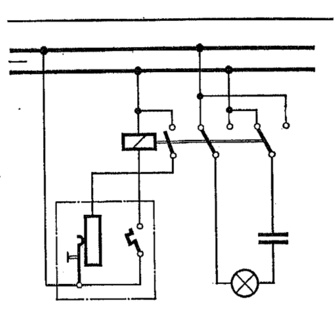
تسمى النبيطة الكهربائية التى لها مواسعة « المواسع » . وأظهرت مناقشة المجالات الكهربائية المتجانسة أن المواسع الذى يوصل لدائرة تيار مستمر يشحن ، وأنه لا يسمح بمرور تيار خلال مواسع مشحون . وعندما يعتبر مواسع كأنه مقاوم تكون للمقاومة م للمواسعة ، فى دائرة التيار المستمر ، قيمة لا نهائية (م = ∞) .

للمواسعات فى دائرة التيار المستمر مقاومة لا نهائية القيمة .

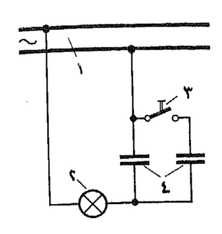
تصرف المواسعات فى دائرة التيار المتردد :

لبحث تصرف مواسع فى دائرة تيار متردد (الشكل ١٨٧) تستخدم نفس الترتيبة المبينة فى الشكل (١٨٣) . ويستخدم بدلا من الملف الكابح للتيار مواسع . وكما فى اختبار المحاثات ، تبين شروط الاختبار والنتائج التى يحصل عليها فى حالة المواسعات فى دائرة التيار المتردد على شكل جدول :

شروط الاختبـــار	النتيجـــة
تردد ١ هز	لا يضىء المصباح
تردد ١,٥ هز	يشع المصباح ضوءا خافتا
تردد ٢ هز	يشع المصباح ضوءا أكثر



شكل ١٨٧ :
ترتيبة تبين تصرف المواسعات فى دوائر التيار المتردد



شكل ١٨٨ : ترتيبة تبين تصرف المواسعات ذات المواسعات المنخفضة والعالمية فى دوائر التيار المتردد
١ – تردد المصدر = ٥٠ هز ٣ – مفتاح كهربائى .
٢ – مصباح متوهج . ٤ – مواسعات .

يبين الشكل (١٨٨) ترتيبة دائرة يوصل فيها مواسع آخر على التوازى ، مع مواسع موصل على التوالى مع مصباح ، عن طريق مفتاح كهربائى . لنفرض أن التردد هو ٥٠ هز ، ويكون للمواسع المختار قيمة ، بحيث يشع عندها المصباح المتوهج ضوءا خافتا عند فتح المصباح الكهربائى . وعند تشغيل المفتاح الكهربائى ، لتوصيل المواسع الثانى بالمواسع الأول على التوازى ، تتضاعف القدرة الضوئية للمصباح . ومن الواضح أن المقاومة تنخفض بازدياد المواسعة ، ومن هذا :

١ – تنخفض المقاومة بازدياد التردد ، فى دائرة تيار متردد لها مواسعات .

٢ – تنخفض المقاومة بازدياد المواسعة ، فى دائرة تيار متردد .

تسمى المقاومة الناتجة عن المواسعات فى دائرة تيار متردد بالمفاعلة السعوية .

المفاعلة السعوية وتعيينها :

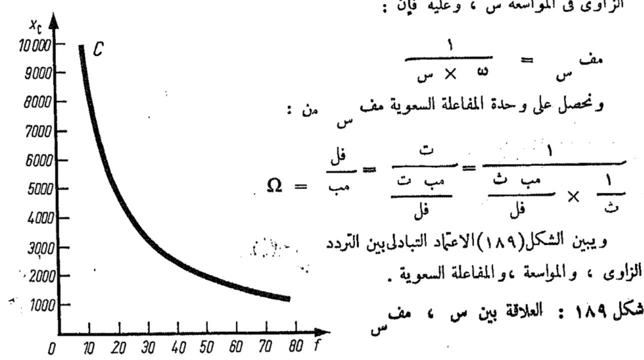
يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة السعوية $مف_{س}$ هى مقلوب حاصل ضرب التردد الزاوى فى المواسعة س ، وعليه فإن :

$$مف_{س} = \frac{1}{\omega \times س}$$

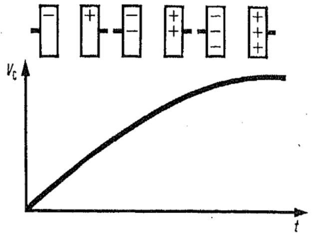
ونحصل على وحدة المفاعلة السعوية $مف_{س}$ من :

$$\frac{1}{\frac{1}{ث} \times \frac{مب \; ث}{فل}} = \frac{ت}{\frac{مب \; ت}{فل}} = \frac{فل}{مب} = \Omega$$

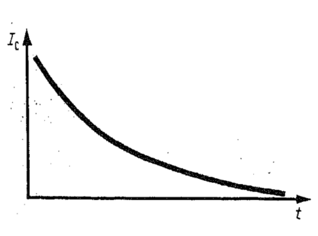
ويبين الشكل(١٨٩)الاعتماد التبادلى بين التردد الزاوى ، والمواسعة ،والمفاعلة السعوية .



شكل ١٨٩ : العلاقة بين س ، $مف_{س}$



شكل ١٩٠ : توليد التيار خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة



شكل ١٩١ : توليد الجهد خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

المواسعة والعلاقة المؤقتة بين الجهد والتيـــار :

تسبب المواسعات أيضاً ، كما هى الحال فى المحاثات، فرق طور بين الجهد والتيار ، فى دائرة التيار المتردد .

يبين الشكل (١٩٠) منحنى الجهد أثناء شحن مواسع خلال $\frac{1}{4}$ دورة . وكمـــا نعرف ، يسمح بمرور تيار ، فقط ، حتى يتم شحن المواسع ، وهذا يعنى أن التيار ينخفض من قيمة مبدئية إلى قيمة الصفر (الشكل ١٩١) .

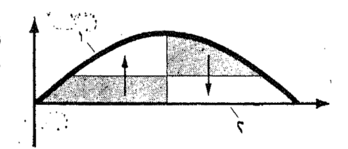
وكما هو الحال فى المحاثات ، حيث تتكون المجالات المغنطيسية وتخبو ، تتكون المجالات الكهربائية للمواسعات وتخبو ، خلال مرحلة نصف موجة (الشكل ١٩٢) .

عند إدماج مواسعات خارجية فى دائرة كهربائية (وهذا لا يحدث فى الحيـــاة العملية عادة) يمكن تمثيل حدوث الجهد والتيار بالنسبة للزمن بطريقة بسيطة (الشكل ١٩٣) .

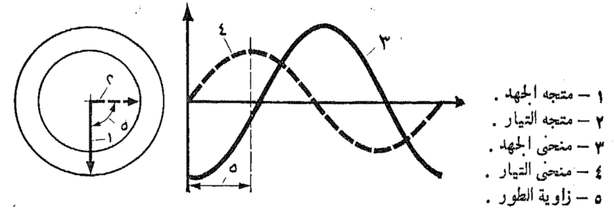
عند إدماج مواسعات فى دائرة تيار متردد ، يظهر الجهد والتيار فى أوقات مختلفة ، ويكون التيار متقدما زمنيا .

(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيـــار متردد :

يبين مما سبق ذكره ، فيما يختص بدائرة التيار المتردد ، أن المقاومات الفعالة ، والمفاعلات الحثية ، والمفاعلات السعوية ، يمكن أن تحدث فى هذه الدائرة .



شكل ١٩٢ : تكوين وخبو مجال كهربائى خلال نصف موجة .
١ – تكوين مجال كهربائى .
٢ – خبو مجال كهربائى .



شكل ١٩٣ : فرق الطور بين الجهد والتيار فى حالة حمل سعوى بحت

ولا تحدث المقاومات الفعالة أى تأثير على فرق الطور بين الجهد والتيار .

والمعاوقة مع ، لدائرة تيار متردد ، تحوى مقاومات فعالة ، ومفاعلات حثية ، والتى تنتج من القيم الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد ، والتى تخالف المقاومة م ، تعطى بالعلاقة :

$$\text{مع} = \sqrt{\text{م}^2 + \text{مف}_{\text{ح}}^2} = \sqrt{\text{م}^2 + (\omega \times \text{ح})^2}$$

حيث مع = المعاوقة .

م = المقاومة

$\text{مف}_{\text{ح}}$ = المفاعلة الحثية

ω = التردد الزاوى

ح = المحاثة

وإذا أدمجت مقاومات فعالة ومفاعلات سعوية ، فى دائرة تيار متردد ، فتعطى المعاوقة بالعلاقة :

$$\text{مع} = \sqrt{\text{م}^2 + \text{مف}_{\text{س}}^2} = \sqrt{\text{م}^2 + \left(\frac{1}{\omega \times \text{س}}\right)^2}$$

حيث : $\text{مف}_{\text{س}}$ = المفاعلة السعوية .

س = المواسعة .

وتعاكس فروق الطور الناتجة ، بواسطة المفاعلات الحثية ، والسعوية ، إحداها الأخرى ولهذا السبب ، يصبح الفرق بين كلا النوعين من المفاعلات فعالا فى دائرة التيار المتردد وهو :

$$مع = \sqrt{م^{٢} + \left(\omega \times ح - \frac{١}{\omega \times س} \right)^{٢}}$$

$$= \sqrt{م^{٢} + \left(مف_{ح} - مف_{س} \right)^{٢}}$$

وإذا عبر عن الفرق ($مف_{ح} - مف_{س}$) بالمفاعلة مف

ينتج أن :

$$مع = \sqrt{م^{٢} + مف^{٢}}$$

ومن هذا ينتج أنه يمكن تطبيق قانون أوم على دائرة تيار متردد فى الشكل العام .

$$ت = \frac{ج}{مع}$$

$$ت = \frac{ج}{\sqrt{م^{٢} + \left(\omega \times مف - \frac{١}{\omega \times س} \right)^{٢}}}$$

١٢/٤ – الشغل الكهربائى ، والقدرة الكهربائية للتيار المتردد :

إذا كان هناك تطابق بين طور جهد وطور تيار ، فى دائرة تيار متردد ، نحصل على قدر ظاهرية من حاصل ضرب القيم الفعالة للجهد والتيار :

$$قد_{ظ} = ج_{ف} \times ت_{ف} .$$

حيث يرمز الحرف ظ للقيمة الظاهرية ، ويرمز الحرف ف للقيمة الفعالة .

وبالمثل ، بالنسبة للشغل الظاهرى ، نجد أن :

$$ش_{ظ} = قد_{ظ} \times ز = ج_{ف} \times ت_{ف} \times ز$$

وعلى كل ، فإن القدرة الحقيقية لدائرة تيار متردد ، تعين بواسطة فرق الطور ، الحادث عن المفاعلات الحثية والسعوية .

وتسمى هذه القدرة « القدرة الحقيقية » أو « القدرة الفعالة » $قد_{ف}$ للتيار المتردد .

ويفسر ذلك بمساعدة الشكل (١٩٤) . وتكون الزاوية بين طور الجهد وطور التيار فى منحنى العلاقة بينهما ، مساوية ٤٥° . وبضرب القيم اللحظية للجهد والتيار ، يمكن تكوين مساحات كما هو مبين فى الشكل (١٧٩) . ونجد على كل ، أن هذه المساحات موجودة فى المدى السالب ، فهى تحدث فى هذه المقاطع ، التى لا يظهر فيهـا الجهد والتيار معاً فى المدى السالب ، أو فى المدى

الموجب (+ × - = - ، - × + = -) ويجب طرح هذه المساحات السالبة من المساحات الموجبة . وبتعبير آخر ، يقترب متوسط القدرة الفعالة قرب محور الزمن ، كلما كان فرق الطور كبيراً .

ويمكن تعيين القدرة الفعالة فى دائرة تيار متردد بواسطة جيب تمام زاوية الطور ، ويسمى التعبير جتا Φ « عامل القدرة » للتيار المتردد . وتعطى القدرة الفعالة بالصيغة التالية :

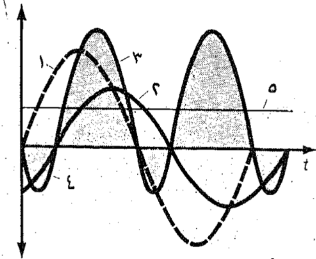
$$قد_{ف} = قد_{ظ} \times جتا\ \Phi$$

$$= ج_{ف} \times ت_{ف} \times جتا\ \Phi$$

وبالتالى ، يكون الشغل الفعال للتيار المتردد :

$$ش = قد_{ظ} \times ز$$

$$= ج_{ف} \times ت_{ف} \times جتا\ \Phi \times ز$$



شكل ١٩٤ : القدرة الفعالة للتيار المتردد عند فرق طور ٤٥°

١ — منحنى الجهد .
٢ — منحنى التيار .
٣ — مساحة القدرة فى المدى الموجب .
٤ — مساحة القدرة فى المدى السالب .
٥ — القيمة المتوسطة للقدرة عند Φ = ٤٥° .

مثـــال :

سلط جهد متردد قيمته ٣٨٠ فلط ، على محرك كهربائى ، وكان دخل التيار ١,٥ أمبير ، وعامل القدرة ٠,٨٠ . فما القدرة الظاهرية ، والقدرة الفعالة لهذا المحرك الكهربائى ؟

المعطيات : ج = ٣٨٠ فلط .
ت = ١,٥ أمبير .
جتا Φ = ٠,٨٠

المطلوب : $قد_{ظ}$ ، $قد_{ف}$

الحـــل :

$$قد_{ظ} = ج_{ف} \times ت_{ف}$$

= ٣٨٠ × ١,٥ = ٥٧٠ واط

لتمييز القدرة الظاهرية عن القدرات الأخرى ، يستخدم التعبير فل . مب (فلط – أمبير) بدلا من التعبير واط قدف = جف × تف × جتا Φ

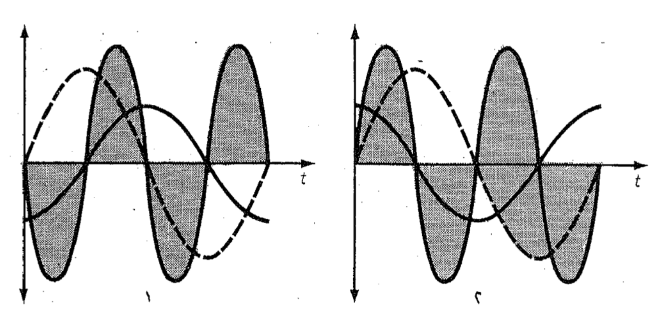
= ٣٨٠ × ١,٥ × ٠,٨ = ٤٥٦ واط

الأهمية العملية لعامل القـــدرة :

يمكن التحقق بواسطة الدالات المثلثية من أن زاوية الطور تصبح – ٩٠° أو ٩٠° فى الدائرة الكهربائية ذات الأحمال السعوية البحتة ، والحثية البحتة (الشكل ١٩٥) .

ويبين هذان المنحنيان للقدرة ، أنه ليس هناك قدرة فعالة فى هاتين الحالتين . ولقد سبق أن قيل إن هاتين الحالتين لاتحدثان عملياً . ويمكن أن يكون لعامل القدرة أى قيمة بين صفر ، ١ فى الحالتين الأخيرتين ، كان عامل القدرة صفراً ، بينما يكون عامل القدرة ١ فى الدائرة ذات الحمل الأومى البحت .

وفى الحياة العملية ، تبذل محطات القوى كل المحاولات الممكنة لضمان عامل قدرة تكون قيمته أقرب إلى الواحد الصحيح ما أمكن ، حيث أن القدرة الظاهرية المولدة تكون أكبر كلما صغر عامل القدرة ، ويمكن تحسين عامل القدرة لتركيبة كهربائية بواسطة تدابير مناسبة .



شكل ١٩٥ : فرق الطور لأحمال سعوية بحتة وحثية بحتة

١ – منحنى القدرة بحمل حثى بحت .

٢ – منحنى القدرة بحمل سعوى بحت .

فمثلا ، بإدخال مواسعات إضافية ذات مواسعات عالية ، إذا كان الحمل الحثى عاليا للغاية أو بواسطة الاستخدام الاقتصادى للمحركات الكهربائية و المحولات .

٥/١٢ — التيـــار المتردد الثلاثى الطـــور :

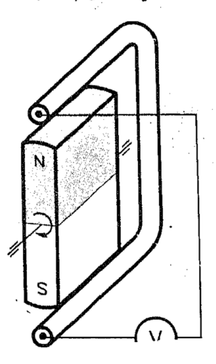
(ا) تمثيل التيـــار المتردد الثلاثى الطـــور :

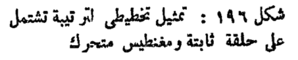
بنيت اعتباراتناعن التيار المتردد على أساس النموذج البسيط لمولد تيار متردد(انظر الشكل١٦٧) . ولقد بينت تفسيرات الحث المغنطيسى أنه ليس هناك اختلاف بين تحريك الموصل أو تحريك المغنطيس لإحداث الحث . ويبين الشكل (١٩٦) التمثيل التخطيطى لترتيبة لتوليد تيار متردد بدوران مغنطيس بينما يكون الموصل ثابتا .

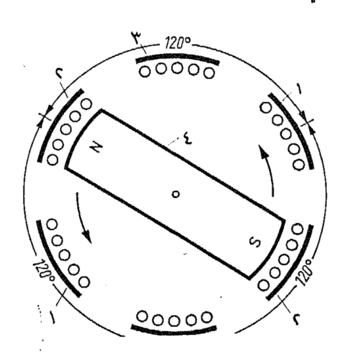
التيار المتردد الأحـــادى الطـــور :

تطور التيار المتردد الأحادى الطور الذى تولد فى بداية الكهربة ، والذى كان موضوع مناقشاتنا السابقة إلى التيار المتردد الثلاثى الطور . وبالشكل(١٩٧) نموذج لمولد تيارمتردد ثلاثىالطور . ولهذا المولد ملامح مميزة ، حيث أن لفيفاته الثلاثة موضوعة بحيث يكون بينها تباعد قيمته ١٢٠°.

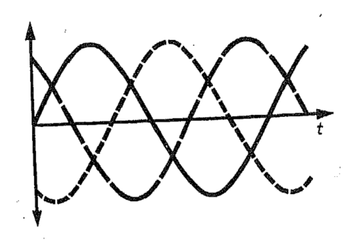
يبين الشكل (١٩٨) التمثيل التخطيطى لترتيبة لإحدى هذه اللفيفات .

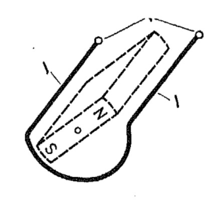



شكل ١٩٦ : تمثيل تخطيطى لترتيبة تشتمل على حلقة ثابتة ومغنطيس متحرك



شكل ١٩٧ : نموذج لمولد تيار متردد ثلاثى الطور
١ — لفيفة I (نهايات ش ، س) .
٢ — لفيفة II (نهايات ض ، ص) .
٣ — لفيفة III (نهايات غ ، ع) .
٤ — مغنطيس دوار .





شكل ١٩٨ : وضع اللفيفة

١ – أجزاء الموصل الفعالة للحث المغنطيسى الكهربائى .

٢ – التوصيلات (مثل س ، ش) .

شكل ١٩٩ : التيار المتردد الثلاثى الأطوار

عندما يدور المغنطيس فى مثل هذا المولد ، تنتج جهود مترددة ، تكون بينها زاوية طور ١٢٠° ، ويبين الشكل (١٩٩) ثلاث منحنيات لجهد متردد جيبى بينها فرق طور مقداره ١٢٠° .

وعند تمثيل لفيفات مولد تيارمتردد ثلاثى الأطوار بمفاعلات حثية، وتمثيل الحمل بمقاومات أومية ، نحصل على نظام مفتوح ثلاثى الأطوار (الشكل ٢٠٠) .

ويعتمد التردد الذى يمر به الجهد المتردد والتيار المتردد ، خلال هذا النظام الثلاثى الأطوار ، على عدد أزواج الأقطاب ، أو سرعة الدوران للمغنطيس الدوار . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد مزود بزوج واحد من الأقطاب (مغنطيس واحد بقطب جنوبى واحد وبقطب شمالى واحد) .

وعليه ، يكون عدد أزواج الأقطاب = ١

وإذا كان التردد ٥٠د/ث ، تكون سرعة الدوران :

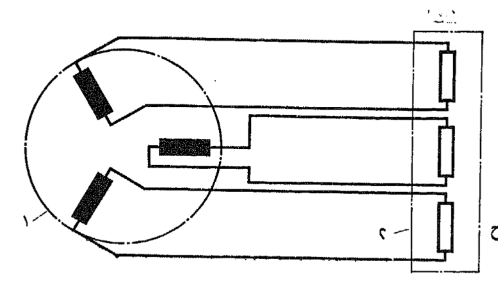
$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد الأقطاب}}$$

$$= \frac{٥٠ \times ٦٠}{١} \times \frac{١}{\text{دقيقة}} = ٣٠٠٠ \text{ دورة فى الدقيقة}$$

يدور العضو الدوار بسرعة ٣٠٠٠ دورة فى الدقيقة لتوليد تردد قيمته ٥٠د/ث .

مثـــال :

أوجد سرعة الدوران لمولد رباعى الأقطاب، مصمم لتوليد تيار ثلاثى الأطوار بتردد $١٦\frac{٢}{٣}$ د/ث .



شكل ٢٠٠ :
نظام ثلاثى الأطوار مفتوح
١ – لفيفات المولد .
٢ – حمل على هيئة مقاومات أومية .

المعطيات : عدد أزواج الأقطاب = ٤

التردد $= ١٦\frac{٢}{٤}$ د/ث

المطلوب : سرعة الدوران

الحـــل :

$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد أزواج الأقطاب}}$$

$$= \frac{١٦\frac{٢}{٣} \times ٦٠}{٤} \times \frac{١}{\text{دقيقة}}$$

$$= \frac{\frac{٥٠}{٣} \times ٦٠}{٤} \times \frac{١}{\text{دقيقة}}$$

= ٢٥٠ دورة فى الدقيقة

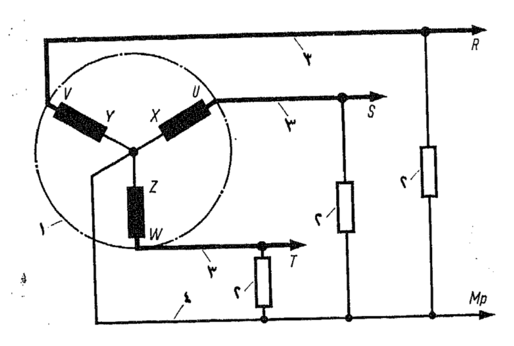
يدور المولد بسرعة ٢٥٠ دورة فى الدقيقة .

(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار فى توصيلات النجمة والدلتـــا :

الترابط المتبادل بين الأطوار فى توصيلة النجمة :

يحتاج النظام المفتوح الثلاثى الأطوار إلى ستة خطوط لنقل القدرة الكهربائية . وعلى كل ، فعند توصيل لفيفات المولد توصيلا متداخلا ، يكتفى بأربعة خطوط بجهدين مختلفى القيمة .

وسيؤخذ فى الاعتبار هنا بمثل هذا النظام ذى الأربعة أسلاك . يبين الشكل (٢٠١) اللفيفات الثلاثة لمولد ، مرتبة ترتيباً يعرف بتوصيلة النجمة ، أو توصيلة Y . وتوصل الأسلاك المرقة للتميز بينهـا بالرمز س X ، ص Y ، ع Z ، إلى نقطة توصيل نجمة أو نقطة تعادل .



شكل ٢٠١ : نظام أربعة أسلاك فى توصيلة نجمة

١ — لفيفات المولد .

٢ — حمل على هيئة مقاومات أومية ، نقطة تعادل ن م .

٣ — موصلات خارجية ر R ، ث S ، ت T

نفرض أن هذا النظام ذى الأربعة أسلاك حمل بمقاومات أومية .

وعادة يمكن إعتبار مساحة المقطع المستعرض لموصل التعادل أصغر من الأسلاك الخارجية . والسبب فى هذا مبين بالشكل (٢٠٢) الذى يشمل جدولا به حاصل جمع الجهود الجزيئية فى نفس الأطوار .

يبين هذا الجدول ، أنه فى أى لحظة ، يكون مجموع الثلاثة جهود فى توصيلة نجمة مساوياً لصفر .

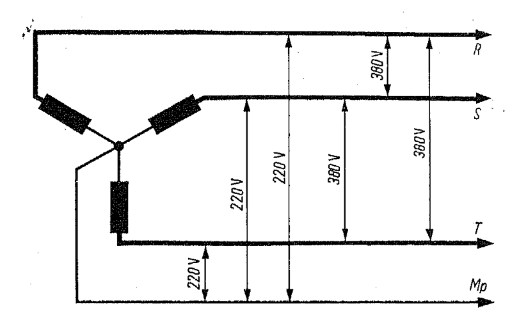
وإذا كان الحمل على الموصلات الخارجية هو نفسه فى جميع الحالات الثلاثة (وهذا نادراً ما يحدث عملياً) ، يكون مجموع التيارات الثلاثة مساوياً لصفر أيضاً ، كما لا يحمل موصل التعادل تياراً . وحيث أنه ، على أية حال ، تكون الأحمال دائماً غير متساوية فإنه يمر دائماً تيار رجوع معين خلال موصل التعادل .

ويوصل عادة موصل التعادل بالأرض ، أى أنه يكون هناك توصيل كهربائى بين نقطة التعادل والأرض الرطبة . وهذا التدبير ضرورى لتوفير الوقاية ضد اللمس العارض (التأريض الواقى) .

وإذا كان للفيفات الثلاثة لمولد تيار متردد ثلاثى الأطوار ، نفس المقنن ، يكون للجهود المنتجة فى هذه اللفيفات نفس القيمة . ويسمى الجهد المنتج بالحث « جهد الطور » ، أو جهد « النجمة » أو « جهد V » أو « جهد Y » وينطبق التعبيران الأخيران على توصيلات النجمة فقط . ومن هذا

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	156	270	312	270	156	0	–156	–270	–312	–270	–156	0
II	–312	–270	–156	0	156	270	312	270	156	0	–156	–270
III	156	0	–156	–270	–312	–270	–156	0	156	270	312	270
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شكل ٢٠٢ : منحنيات الجهد لتيار متردد ثلاثى الأطوار وحاصل جمعها



شكل ٢٠٣ : شروط الجهد فى أنظمة الأربعة أسلاك

ج = ٢٢٠ فلط .

ج خط = ٣٨٠ فلط .

ينتج أن جهود الأطوار الثلاثة تكون متاحة، وهي $ج_{ن م}$ ر ($ج_{R - MP}$) ، $ج_{ن م}$ ت ($ج_{T - MP}$) ، $ج_{ن م}$ ث ($ج_{S - MP}$). (ن م) (M P) تعنى النقطة الوسطى ، ويقصد بها هنا موصل التعادل). وعلاوة على ذلك ، يعطى نظام الأربعة أسلاك ثلاثة جهود بين الخطوط $ج_{خط}$ أو يعطى جهودا بين طور وطور وهي $ج_{RS}$ ، $ج_{RT}$ ، $ج_{ST}$.

وإذا كانت القيمة الفعالة لجهد الطور هي ٢٢٠ فلط ، على سبيل المثال ، يكون الجهد بين طور وطور $ج_{خط}$ = ٣٨٠ فلط .

يبين الشكل (٢١٣) جهود نظام ذو أربعة أسلاك .

ويمكن إيجاد العلاقة العامة بين $ج_{طور}$ ، $ج_{خط}$ بواسطة مثلث الجهد (الشكل ٢٠٤) .

$$\frac{ج_{خط}}{٢} : ج = جتا ٣٠^\circ$$

$$ج_{خط} = ٢ \times ج \times جتا ٣٠^\circ$$

$$ج_{خط} = ٢ \times ج \times \frac{١}{٢} \sqrt{٣}$$

$$ج_{خط} = ج \times \sqrt{٣}$$

$$ج_{خط} = ١,٧٣ \times ج$$

شكل ٢٠٤ : مثلث الجهد لجهود الأطوار ج بينها فرق طور ١٢٠°

١ – جهود الأطوار ج بينها فرق طور ١٢٠°
٢ – زاوية ٣٠°
٣ – جهد الخط $ج_{خط}$
٤ – $\frac{ج_{خط}}{٢}$

الجهود بين طور وطور ، في نظام ثلاثي الطور ، في توصيلة نجمة تساوي ١,٧٣ مرة جهد الطور ج .

ولقد أفادنا النظام الثلاثي الأطوار بأربعة أسلاك في تكوين ترتيبات الدائرة الآتية :

توصيلة أحادية الطور : تركيبات الإضاءة ، الأجهزة الكهربائية المنزلية ، المحركات الكهربائية الموصلة بين الموصل الخارجي وموصل التعادل .

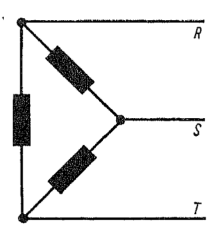
توصيلة ثنائية الأطوار : المحركات الكهربائية للتشغيل الثقيل بالتيار المتردد موصلة بين موصلين خارجيين .

توصيلة ثلاثية الأطوار : المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار ووحدات التسخين الصناعية ذات الخرج العالى ، الموصلة بين الموصلات الخارجية الثلاثة .

الترابط المتبادل بين الأطوار فى توصيلة الدلتا :

يبين الشكل (٢٠٥) مثالا لمولد فى توصيلة دلتا . ومن الواضح أنه يلزم لذلك ثلاثة موصلات خارجية (ر R ، ث S ، ت T) . وتبعاً لذلك يكون لفروق الجهد بين هذه الموصلات الخارجية نفس القيمة . وعلى كل ، لا يطبق ذلك على شدة التيار فى دائرة كهربائية مقفلة (والدائرة المقفلة تعبير آخر لتوصيلة الدلتا) . ودائماً ، تصبح قيم شدة التيار لتيارات الأطوار فعالة ، كما هى الحال بالنسبة للجهود فى توصيلة النجمة ، وعليه فإن :

$$\text{ت}_{\text{خط}} = \sqrt{\text{٣}}\ \text{ت}_{\text{طور}} \quad \text{،} \quad \text{ت}_{\text{خط}} = \text{١,٧٣} \times \text{ت}_{\text{طور}}$$



شكل ٢٠٥ : توصيلة الدلتا

شدة تيار الموصل $\text{ت}_{\text{خط}}$ فى نظام ثلاثى الطور فى توصيلة دلتا تساوى ١,٧٣ مرة شدة تيار الطور .

مثـــال :

قيست شدة تيار ت فكانت ١٢٠ أمبير بين الموصلات الخارجية لمولد توصيلة دلتـــا . أوجد شدة التيار فى لفيفة واحدة ؟ .

المعطيات : تيار الموصل $ت_{خط}$.

المطلوب : تيار الطور $ت_{طور}$

الحل :

$$ت_{خط} = ت_{طور} \times \sqrt{٣}$$

$$ت_{طور} = \frac{ت_{خط}}{\sqrt{٣}} \quad ، \quad ت_{طور} = \frac{١٢٠}{١,٧٣} \text{ أمبير}$$

$$ت_{طور} \simeq ٧٠ \text{ أمبير}$$

لفيفات المولد محملة بتيار قيمته حوالى ٧٠ أمبير

(ج) القدرة فى دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار :

نص فى (القسم الأول — الفصل الثانى عشر) ، على أن القدرة الفعالة لتيار متردد أحادى الطور ، تعطى بالعلاقة :

$$قد_{ف} = ج_{ف} \times ت_{ف} \times جتا \, \Phi$$

وبافتراض أن الأحرف المستخدمة كرموز فى العلاقات هى للجهود والتيارات أو القدرات الفعالة دون الإشارة إلى ذلك ، تحسب القدرة لكل طور من :

$$قد_{طور} = ج \times ت \times جتا \, \Phi$$

وللتيار المتردد الثلاثى الأطوار :

$$قد = \sqrt{٣} \times ج \times ت \times جتا \, \Phi$$

ولنبحث الآن عن التأثير الذى تبذله ترتيبة الدائرة الكهربائية المعطاة على تعيين القدرة فى نظام تيار متردد ثلاثى الأطوار :

توصيلة نجمة	توصيلة دلتا
$ج_{طور} = \frac{ج_{خط}}{\sqrt{٣}}$	$ج_{طور} = ج_{خط}$
$ت_{طور} = ت_{خط}$	$ت_{طور} = \frac{ت_{خط}}{\sqrt{٣}}$

ومن هذا ينتج :

$$قد = 3 \times \frac{ج_{خط}}{\sqrt{3}} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

$$قد = 3\ ج_{خط} \times \frac{ت_{خط}}{\sqrt{3}} \times جتا\ \Phi$$

وباختصار كلتا المعادلتين نحصل على التعبير العام للقدرة للتيار المتردد ثلاثى الطور :

$$قد = \sqrt{3} \times ج_{خط} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

$$قد = 1{,}73 \times ج_{خط} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

مثـــال :

ما القدرة المحولة فى نظام تيار متردد ثلاثى الطور ، إذا كانت شدة التيار المقاسة ١٣٠ أمبير ، عند جهد بين طور وطور قيمته ٣٨٠ فلط ؟ وكانت قراءة جهاز قياس عامل القدرة هى ٠,٧٨

المعطيات : $ج_{خط}$ = ٣٨٠ فلط

$ت_{خط}$ = ١٣٠ أمبير

جتا Φ = ٠,٧٨

المطلوب : القـدرة قد

الحـــل :

$$قد = 1{,}73 \times ج_{خط} \times ت_{خط} \times جتا\ \Phi$$

قد = ١,٧٣ × ٣٨٠ × ١٣٠ × ٠,٧٨

قد = ٦٣٤٦٦ واط ، قد = ٦٣,٤٦٦ كيلو واط

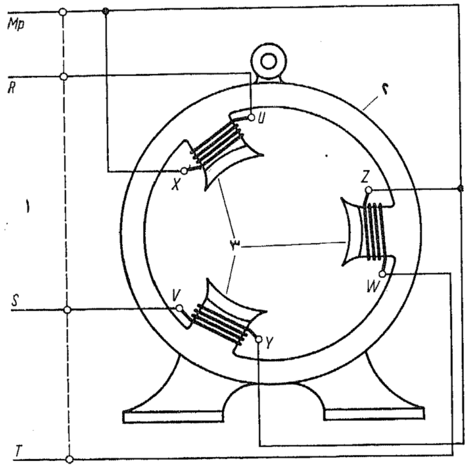
القدرة فى هذه الدائرة الكهربائية للتيار المتردد ثلاثى الأطوار ٦٣,٥ كيلو واط تقريبا .

(د) المجـــال الدوار :

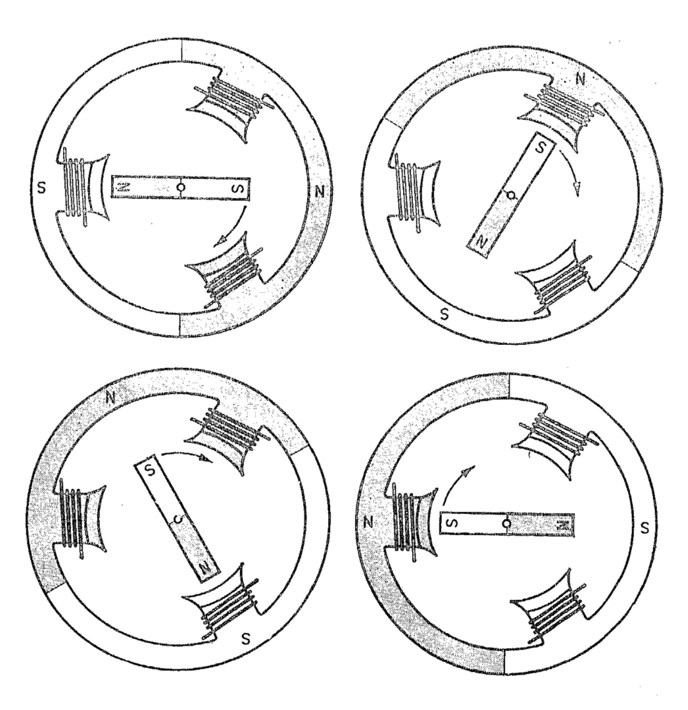
يصاحب التيار المتردد ثلاثى الأطوار ظاهرة تؤخذ فى الاعتبار ، حيث أنها ذات فوائد خاصة للاستخدام التجارى لهذا النوع من التيار . ويفسر هذا فيما يلى :

عند دراسة جوهر المغنطيسية الكهربائية ، ناقشنا العلاقة بين اتجاه التيار ونوع القطب المغنطيسى فى الملفات الحاملة للتيار .

ويمكن إعتبار لفيفات مولد تيار متردد ثلاثى الأطوار ، على أنها ملفات ذات قلب حديد ينتج بالحث فيها جهد ، وفى نفس الوقت يتكون مجال مغنطيسى حول هذه الملفات . وبمساعدة الشكل (١٩٧) نتفهم بسهولة ، أنه إلى جانب المجال المغنطيسى للمغنطيس الدوار ، يدور مجال مغنطيسى آخر فى الجزء الثابت من المولد ، أى عند أقطاب اللفيفات . ولهذا المجال الدوار الثانى أهمية غير ذات بال بالنسبة للمولد نفسه . وعلى كل ، فإن لهذه الظاهرة التى تسمى « المجال الدوار » ، أهمية خاصة بالنسبة للمحرك الكهربائى . بالشكل (٢٠٦) تمثيل تخطيطى للجزء الثابت (العضو الساكن) لمحرك كهربائى ثلاثى الأطوار ، موصل بنظام ذى أربعة أسلاك . وتكون اللفيفات متباعدة بعضها عن بعض بزاوية مقدارها ١٢٠° . وعندما تشغل ترتيبة الدائرة هذه فإن المجالات المغنطيسية ذات القطبية المغنطيسية المترددة والتى تتبع دورية التردد تتكون عند رؤوس الملفات .



شكل ٢٠٦ : عضو ساكن ذو ثلاثة ملفات موصل بنظام ذى أربعة أسلاك
١ – نظام ذو أربعة أسلاك.
٢ – جسم من حديد مغنطيسى.
٣ – ملفات .



شكل ٢٠٧ : يبين هذا الشكل كيفية إنتاج مجال دوار بالحث

يبين الشكل (٢٠٧) نصف دورة لمجال دوار فى مثل هذه الترتيبة ، وتتبع إبرة مغنطيسية مرتكزة عنـــد مركز العضو الساكن هذا المجال الدوار (التى تساوى سرعة دورانه حوالى ٣٠٠٠ دورة فى الدقيقة ، عند تردد د = ٥٠ د/ث) .

ولقد أمكن الانتفاع بفوائد المجال الدوار فى المحركات الكهربائية الثلاثية الأطوار اللاامتزامنة . وسيناقش كل ما يتعلق بهذه المحركات الكهربائية ، الأكثر شيوعا فى الاستخدام فى الصناعة ، فى الجزء الثانى .

القسم الثانى

تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

الفصل الأول

الاختبـــار والقياس

يميز بين الاختبار والقياس فى الهندسة الكهربائية ، كما هى الحال فى مجالات الهندسة الأخرى .

يعرف الاختبار بأنه طريقة لتعيين حالة أو ظرف . ومثال لذلك ، هل هناك جهد أم لا ؟ (نعم أم لا) هل هناك قطع فى الخط (نعم أم لا) ؟

وبالقياس نتأكد من قيمة كمية كهربائية . ويعبر عن كمية كهربائية بقيمة عددية مضروبة فى الوحدة .

أمثلة :

الكمية	القيمة العددية	الوحدة
الجهد	٥	فلط (٥ فلط)
شدة التيار	١٢٥	أمبير (١٢٥ أمبير)
المقاومة	٢٥٠٠٠	أوم (٢٥ كيلو أوم)

عند اختبار تركيبات أو معدات كهربائية ، تعين الشروط الكهربائية أو التشغيلية . وبالقياس تعين الكميات الكهربائية ، أو يتم التأكد من قيمها .

الفصل الثانى

معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها

عند القياس يميز بين :

اختبار الجهد ،

و اختبار الإستمرارية .

وعند إختبار نظام لجهد ، يفترض أنه يتعدى ٤٢ فلط ، يجب استخدام معدات إختبار صممت لهذا الغرض . وتكون معدات الإختبار التى يصنعها الفرد ، والتى تكون على هيئة دواة بها مصباح ، وأسلاك توصيل ، مصدرا للخطر .

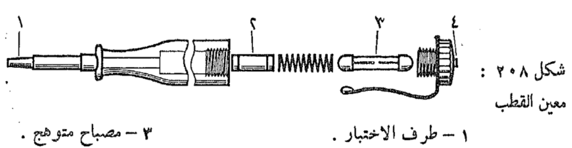
١/٢ – إختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد :

(ا) الإختبار بواسطة معين القطب :

يبين الشكل (٢٠٨) التمثيل التخطيطى لمبين القطب ، والذى يعرف أيضاً بمبين القطبية ، ويصلح للجهود بين ١٠٠ فلط ، ٢٥٠ فلط . وعادة يكون طرف اختباره على شكل سن مفك لكى يمكن إستخدامه كأداة .

يومض المصباح المتوهج فى نطاق الجهد المعين ، إذا لمس طرف الإختبار جزء مكهرب (على سبيل المثال ، إذا لمس طرف الإختبار طرف أو ملامس مفتاح كهربائى) . بينما يلمس الشخص المختبر ملامس الإصبع . وعند جهد حوالى ١٠٠ فلط يشع المصباح المتوهج ضوءاً خافتاً نسبياً عنه عند جهد ٢٢٠ فلط .

وبجانب إختبار وجود ، أو عدم وجود جهد ، يمكن إستخدام معين القطب للتأكد من نوع الجهد إذا كان مستمراً أو متردداً ، على حسب الحالة . ويبين الشكل (٢٠٩) المصباح المتوهج عند الجهد المستمر (١) ، وعند الجهد المتردد (٢) .



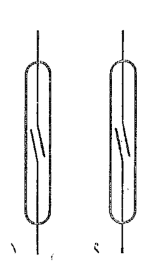
شكل ٢٠٨ : معين القطب

١ – طرف الاختبار .

٢ – مقاومة (حوالى من ٢ إلى ٣ ميجا أوم) .

٣ – مصباح متوهج .

٤ – ملامس إصبع .



شكل ٢٠٩ : إشارة من المصباح المتوهج عند أنواع مختلفة من الجهد
١ – إشارة فى حالة التيار المستمر .
٢ – إشارة فى حالة التيار المتردد .

فعند الجهد المستمر يشع الضوء إلكترود واحد من المصباح المتوهج ، وفى حالة الجهد المتردد يشع الضوء الإلكترودان بالتناوب. وحيث أنه لا يمكن لأعيننا تتبع الضوء أثناء تناوبه دورياً ، عند التردد المعطى ، لذا ، يظهر هذا الضوء لأعيننا منتظماً بين الإلكترودات .

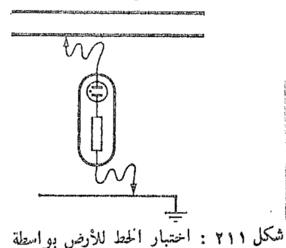
(ب) الإختبار بواسطة مبين الجهد :

يطبق أساس تشغيل معين القطب أيضاً بالنسبة لمبين الجهد ، مع عدم وجود ملامس إصبع ، ولكن يستخدم بدلا منه ، طرفا اختبار معزولين ، لإختبار الشئ المراد اختباره . ويبين الشكل (٢١٠) إستخدام مبين الجهد ، فى اختبار جهد بين الخطوط لمخرج مقبس . ويمكن إستخدام نفس طريقة الاختبار ، للتأكد من سلامة صندوق التوصيل ، أو مفتاح كهربائى ، أو شريحة طرفية فى محرك كهربائى أو لوحة مفاتيح كهربائية .

وهناك طريقة أخرى للاختبار ، وهى الإختبار بالنسبة للأرض (الشكل ٢١١) . ويصبح مثل هذا الاختبار ضرورياً لمعرفة أى خط (من عدة خطوط) يوصل الكهرباء للأرض . ومثال لذلك ، فإنه من الضرورى إجراء مثل هذا الاختبار ، لمعرفة أى خط يكون موصل التعادل لتوصيلة بجهد ٢٢٠ فلط فى نظام بأربعة أسلاك (لا يحدث هذا الخط عند إختباره تشغيل لمبين الجهد) .

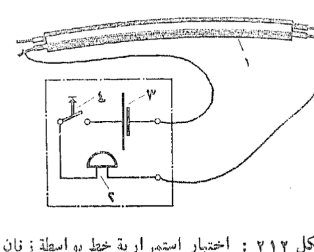
٢|٢ – إختبار الإستمرارية بواسطة معدات إختبار بسيطة :

تكون أى تركيبات كهربائية أثنـــاء تشغيلها دائرة كهربائية مقفلة . وتفشل دائرة كهربائية أو أى معدات كهربائية فى التشغيل الصحيح ، إذا كانت هناك على سبيل المثال دائرة قصر ، أو تسرب للأرض ، أو سلك مقطوع ، أو توصيلة خاطئة ، أو تلامس خاطئ .



شكل ٢١٠ : اختبار الخط للخط بواسطة مبين الجهد

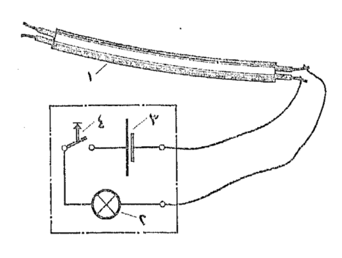
شكل ٢١١ : اختبار الخط للأرض بواسطة مبين الجهد



شكل ٢١٢ : اختبار استمرارية خط بواسطة زنان

١ — عينة اختبار . ٣ — مصدر للجهد .

٢ — زنان . ٤ — مفتاح كهربائى بذراع .



شكل ٢١٣ : اختبار دائرة قصر فى كبل

١ — عينة اختبار . ٣ — مصدر للجهد .

٢ — مصباح متوهج . ٤ — مفتاح كهربائى بذراع .

شكل ٢١٤ : اختبار قصر اللفات لمحرك كهربائى

١ — عينة اختبار .

٢ — إشارة مرئية .

٣ — مصدر للجهد .

٤ — مفتاح كهربائى بذراع .

ويمكن عادة تعقب مصاعب من هذا النوع بواسطة إختبارات الإستمرارية ، وتجرى عندما تكون التركيبات أو المعدات غير مكهربة . وتتكون معدات الإختبار البسيطة من مصدر للجهد (عادة عمود جلفانى) ومبين كمصباح متوهج أو إشارة مرئية أو زنان .

ويمكن اختبار أجزاء التركيبات أو المعدات التى بها مقاومات كهربائية منخفضة بواسطة مصابيح متوهجة وزنان . ويجب إختبار المعدات التى يتوقع إحتواؤها على مقاومات أعلى ، بواسطة إشارات مرئية ، نظراً لأن لها دخل قدرة منخفض ، وتعمل على شدة تيار صغيرة جداً .

وتبين الأشكال من (٢١٢) إلى (٢١٤) بضع أمثلة لاختبارات الإستمرارية .

الفصل الثالث

تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية

لقد أشير فى مجال شرح العلاقات المتبادلة بين شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة (القسم الأول – الفصل الخامس) ، إلى الأميترات والفلطمترات ، دون التعرض لتفاصيل تصميماتها ، وطرق تشغيلها . وفيما يلى وصف لأهم أجهزة القياس المستخدمة فى الهندسة الكهربائية وأدائها .

ويلعب قياس الكمية الكهربائية دوراً هاماً فى الهندسة الكهربائية بالرغم من تشابه غالبية أجهزة القياس ببعضها البعض ، ومع الأخذ فى الاعتبار لأساس تشغيلها ، إلا أنها تختلف فى بعض الأحيان ، اختلافاً كبيراً بالنسبة لمدى القيم العددية للكميات المراد قياسها ، وبالنسبة لدقة القياسات ، ولطرق القياس .

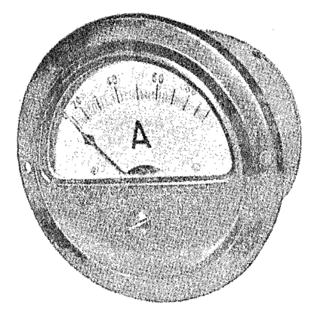
٣/١ – الكميات المراد قياسها – أجهزة القياس :

فيما يلى حصر لبعض كميات يراد قياسها ، وأجهزة القياس المناسبة للغرض المطلوب :

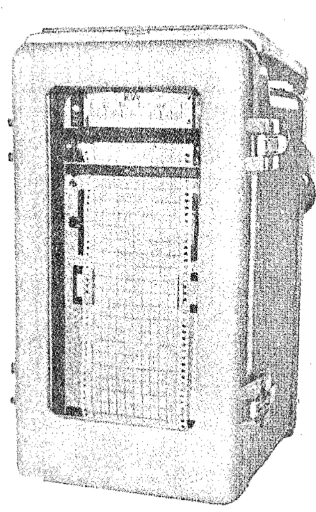
الكمية المراد قياسها	جهاز القياس
شدة التيار	أميتر ميزان أمبير
الجهد	فلطمتر جهاز قياس فرق الجهد المطلق
المقاومة	أومتر بملف متقاطع ، قنطرة قياس مقاومة .
التردد	جهاز قياس التردد بريشة
القدرة	واطمتر

٢/٣ – تصميم ودقـــة قياسات أجهزة القياس :

يراعى عند طلب أجهزة القياس ، أن يكون هذا الطلب محدداً بدقة بقدر الإمكان (وبغض النظر عن الكميات المراد قياسهـا) . كما تطلب أجهزة القياس ذات التطبيق الواسع المدى . وقد وضعت تصميمات متعددة لأجهزة القياس ، فى مراحل تطويرها .



شكل ٢١٥ : جهاز بيان كهربائى
(VEB Elektro Apparate- Werk Berlin-Treptow G D R)



شكل ٢١٦ : جهاز مسجل

وفيما يلى وصف لأكثر هذه الأجهزة شيوعاً فى الإستخدام :

أجهزة بيـــان كهربائيـــة :

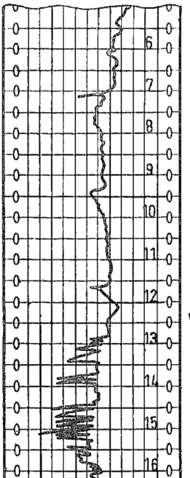
وتبين القيمة للكمية المراد قياسهـا بواسطة مؤشر ينحرف على تدريج (الشكل ٢١٥) .

أجهزة مسجلة كهربائية :

وتسجل نبيطة تسجيل ، تناظر حركتّهـا إنحراف مؤشر ، القيمة المقاسة الكمية المراد قياسهـا، على شريط من الورق ، يتحرك بسرعة ثابتة (الشكل ٢١٦ و الشكل ٢١٧) .

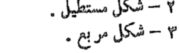
أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية :

تصمم هذه الأجهزة للتركيب فى خلايا لوحات التشغيل الكهربائية وللإستخدام الثابت . ولأجهزة القياس ذات التصميم القديم منهـا شكل مستدير عادة ، بينما يكون للأجهزة الحديثة منهـا شكل مستطيل أو مربع (الشكل ٢١٨) .

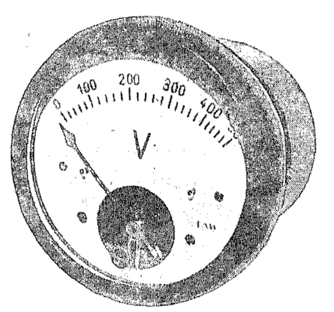


شكل ٢١٧ : رسم بيانى لسجل قدرة
(الأرقام تبين الزمن)

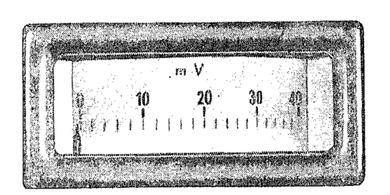
شكل ٢١٨ :
أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية



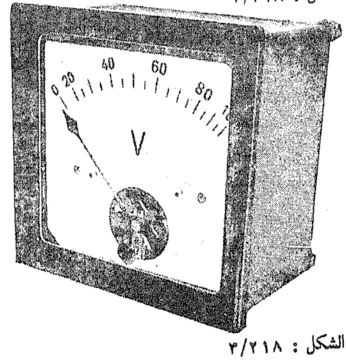
١ – شكل مستدير .
٢ – شكل مستطيل .
٣ – شكل مربع .



الشكل : ٢١٨/١



الشكل : ٢١٨/٢



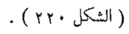
الشكل : ٢١٨/٣

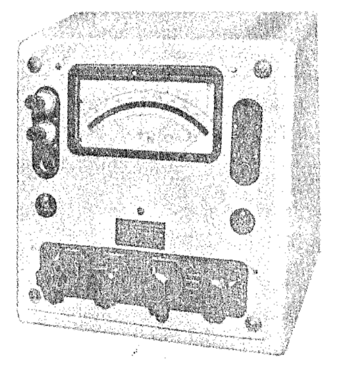
أجهزة نقالى كهربائيـــة :

وتستخدم فى التركيبات الكهربائية وأغراض الإصلاح . وهناك عدة تصميمات لأجهزة القياس النقالى ، مناسبة لقياس عده كميات (أجهزة قياس متعددة الغرض) (الشكل ٢١٩) .

أجهزة قياس كهربائيـــة معملية :

ويجب أن تفى باحتياجات الطلبات الدقيقة ، من حيث دقة القياس ، ودقة القراءة . وعادة ، تكون تداريج مثل هذه الأجهزة مركبة على مرايا . وتكون أجهزة القياس المعملية من النوع النقالى . (الشكل ٢٢٠) .





شكل ٢١٩ : جهاز نقالى

شكل ٢٢٠ : أجهزة قياس معملية

(ا) دقـــة القياس :

يميز بين الأجهزة الدقيقة و الأجهزة الصناعية (التجارية) ، كما تصنف هذه الأجهزة طبقا لحدود الخطأ . ويعبر عن حدود الخطأ على المدى الفعال بنسبة مئوية من مدى التدريج . وقد قسمت الأجهزة إلى مجموعات تبعاً لهذه القيم المسموح بهـا .

درجة الدقة	٠,١	٠,٢	٠,٥	١	١,٥	٢,٥	٥
التأثير على النتيجة (فى المـائة)	٠,١	٠,٢	٠,٥	١	١,٥	٢,٥	٥
	أجهزة دقيقة			أجهزة صناعية (تجارية)			

ويبين تأثير درجة دقة جهاز القياس على النتائج بالمثال التالى :

مثـــال :

ما حد الخطأ معبراً عنه فى المـائة لفلطمتر ، درجة دقته ٢,٥ ، وله مدى تدريج ١٠٠ فلط ؟

الجهد (بالفلط)	الإنحراف (بالفلط)	حدود الخطأ (نسبة مئوية)
١٠٠	± ٢,٥	٢,٥٠
٨٠	± ٢,٥	٣,١٢
٦٠	± ٢,٥	٤,١٦
٤٠	± ٢,٥	٦,٢٥
٢٠	± ٢,٥	١٢,٥٠
١٠	± ٢,٥	٢٥,٠٠

وتؤدى هذه الأجهزة إلى إنحرافات تؤخذ فى الاعتبار فى المدى المنخفض ، ولهذا السبب يجب إستخدام المدى العلوى فقط للجهاز فى القياس . ويجب تجنب قياسات الجهد فى المثال المعطى عاليه للقيم أقل من ٨٠ فلط .

٣/٣ — آليـــات الحركة لقياس الجهد وشدة التيـــار :

(ا) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة القياس :

تبنى آليات الحركة ، الأكثر شيوعاً فى الإستخدام ، على أساس المغنطيسية الكهربائية . وتبذل المجالات المغنطيسية قوة على جسم متحرك، يكون تحركه (إنحرافه) هو قياس للكمية المراد قياسها .

وتستخدم قلة من أجهزة القياس القوى الموجودة بين الشحنات الكهربائية الإستاتيكية (مثال لذلك جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى المطلق، المبين وصفه بالقسم الأول — الفصل الثالث). ونادراً ما يستخدم التأثير الحرارى للتيار الكهربائى فى أغراض القياس . وفى هذه الأجهزة تكون إستطالة معدن معرض للحرارة هى القياس للكمية المراد قياسهـا .

(ب) أجهزة القياس بحديدة متحركة :

تبنى آليات حركة أجهزة القياس هذه على حركة ملفات مفلطحة ، أو ملفات مستديرة.

آليات حركة الملفات المفلطحة :

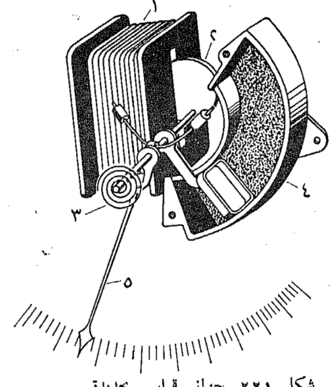
بالشكل (٢٢١) تصميم لآلية حركة ملفات مفلطحة . يلف ملف بطريقة مـا، بحيث تكون لفتحته شكل الشقب . يوضع لوح صغير من الحديد أمام هذا الشقب بحيث يكون حر الدوران ، وبحيث يكون مزوداً بمؤشر ، وبزنبرك لوابى للحركة المرتجعة . توصل نبيطة مضاءلة مع لوح الحديد الصغير ، لضمان تحرك المؤشر بنعومة . ويستخدم فى هذه الحالة نظام مضاءلة هوائى .

وعندما يمر تيار عبر الملف المفلطح ، يسحب اللوح الحديد داخل شقب الملف إلى مدى معين .

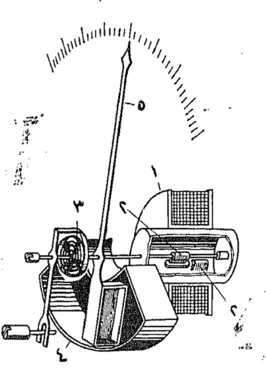
وبإجراء قياسات مقارنة ، يقسم التدريج بحيث تكون المسافة التى يقطعها لوح الحديد متناسبة مع شدة التيار أو الجهد .

آليـــات حركة الملفات المستديرة :

بالشكل ٢٢٢ تصميم آلية حركة ملف مستدير . وتميز عن آلية حركة الملف المفلطح فى شكلها وباستخدامها للتنافر المغنطيسى . فيوجد لوح حديدى صغير ثابت وآخر متحرك فى الحيز الداخلى الكروى لصندوق الملف ، ويزود هذا الأخير بمؤشر وزنبرك لولبى وبنظام مضاءلة هوائى .



شكل ٢٢١ جهاز قياس بحديدة متحركة بملف مفلطح
١ — ملف مفلطح .
٢ — لوح حديد صغير .
٣ — زنبرك لولبى .
٤ — نظام مضاءلة هوائى .
٥ — مؤشر يتحرك على تدريج .



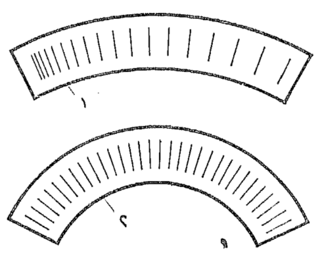
شكل ٢٢٢ : جهاز قياس بحديدة متحركة بملف مستدير
١ — ملف مستدير .
٢ — لوح حديد صغير .
٣ — زنبرك لولبى .
٤ — نظام مضاءلة هوائى .
٥ — مؤشر يتحرك على تدريج .

عندما يمر تيار خلف الملف يتمغنط اللوحان الصغيران بفيض من نفس الاتجاه بحيث يتنافران مع بعضهما البعض ، وهذا بسبب إنحراف المؤشر .

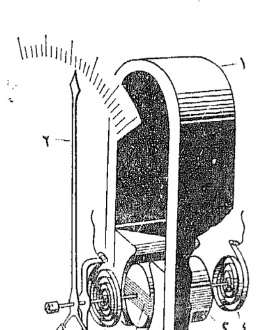
تطبيقات أجهزة القياس بحديدة متحركة :

تكون آليات الحركة هذه مناسبة للتيار والجهد المستمر ، والتيار والجهد المتردد . ويكون لأجهزة القياس بحديدة متحركة ذات التصميمات القديمة أقسام تدريج لوغاريتمية (الشكل ٢٢٣ — ١) ، بينما تكون أجهزة القياس الحديثة منها مزودة بأقسام تدريج خطية (الشكل ٢٢٣ — ٢) .

ويمكن الحصول على تدريج خطى بتشكيل خاص اللوح الحديد حيث أن عزم اللى يتناسب مع مربع شدة التيار .



شكل ٢٢٣ : أقسام التدريج
١ — قسم مربع .
٢ — قسم خطى .



شكل ٢٢٤ : جهاز قياس بملف متحرك
١ — مغنطيس بشكل حدوة حصان بأطراف قطب .
٢ — قلب حديد .
٣ — ملف متحرك .
٤ — زنبركات لولبية .
٥ — تصحيح الصفر .
٦ — مؤشر يتحرك على تدريج .

وتكون القـدرة التى تتطلبها آلية التحرك هـذه عالية نسبيا ، ولهذا السبب لا يمكن استخدامها لقياس جهود وشدة تيارات منخفضة للغاية ، علاوة على أن آليات الحركة هذه يتوقف عملها على التردد ، وهذا يعنى أن مقاومتها تتغير بتغيرات التردد ، لهذا السبب فإن أغلب استخدامات أجهزة القياس بحديدة متحركة ينحصر فى دوائر التيار المتردد (تردد ٥٠ هز) . وهذه الأجهزة غير مناسبة للقياسات عند مدى الترددات العالية .

(ج) أجهزة القياس بملف متحرك :

يبين الشكل ٢٢٤ تصميما لجهاز قياس بملف متحرك . يوضع قلب حديد مستدير فى نطاق مجال حدوة حصان مغنطيسى دائم ، تزود نهايتها بأطراف أقطاب ، وتكون لثغرة الهواء بين أطراف القطب والقلب الحديدى ما يسمى بالمجال المغنطيسى المتجانس فى إتجاه نصف القطر . يركب فى ثغرة الهواء هذه ملف ملفوف على قاعدة من معدن خفيف الوزن ويزود محور هذا الملف بمؤشر .

يغذى التيار خلال زنبركين لولبيين لهما لفات ملفوفة باتجاه عكسى ، ويمكن بواسطة هذين الزنبركين ضبط وضع الصفر .

وعندما يسرى تيار مستمر فى الملف ، ينتج عزم لى يتوقف إتجاهه على إتجاه التيار ، حيث أن قطبية المغنطيس تبقى كما هى دون تغير . وإذا كان الصفر ، على سبيل المثال ، على الجانب الأيسر للتدريج ، تتلف آلية الحركة عند تعريضها لحمل ذى إتجاه تيار خاطئ ، ولفترة طويلة .

تطبيقات أجهزة القياس بملف متحرك :

يكون أساس عمل أجهزة القياس بملف متحرك بحيث تكون هذه الأجهزة مناسبة فقط للتيارات والجهود المستمرة ، وحيث أن آليات الحركة هذة تكون عالية الحساسية الكهربائية ، بحيث تكون متطلبات قدراتها منخفضة للغاية (حوالى ٠,٠٠١ ملى أمبير عند انحراف كامل على التدريج) ، فتستخدم أجهزة القياس بملف متحرك أيضا للتيار المتردد ، ويتحقق هذا بمساعدة مقومات أجهزة . تحول هذه النبائط التيار المتردد إلى تيار مستمر ، وسنناقش كيفية تشغيلها فيما بعد بهذا القسم .

وحيث أن المجال المغنطيسى لجهاز القياس بملف متحرك يكون ثابتا ، لذا يتوقف عزم اللى تماما على شدة التيار للملف المتحرك ، ويتناسب عزم اللى مع شدة التيار ، ولهذا السبب تزود أجهزة القياس هذه بأقسام خطية للتدريج .

وتستخدم عادة الملفات المتحركة فى أجهزة القياس الدقيقة ، كما تستخدم فيها عادة مضاءلة التيار الدوامى . وتضاد المجالات المغنطيسية الدوارة التى تتكون فى قاعدة الملف المعدنية الخفيفة الوزن الحركة الدوارة للملف .

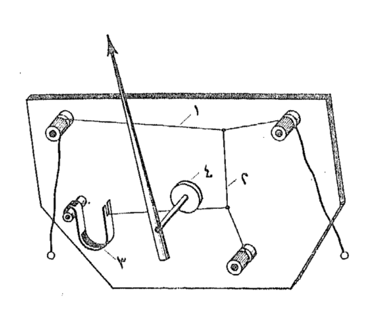
(د) أجهزة القياس بسلك ساخن :

يبين الشكل ٢٢٥ التصميم الأساسى لجهاز قياس بسلك ساخن . يمر تيار خلال سلك تسخين من سبيكة خاصة ، فيتمدد هذا السلك بالتسخين . ويتحرك سلك توتر موضوع بين زنبرك توتر وسلك التسخين ، وذلك نتيجة لتمدد السلك الأخير (يستطيل سلك التسخين ، بينما ينكمش الزنبرك) . وتنقل حركة سلك التوتر إلى بكرة مزودة بمؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بسلك ساخن :

هذه الأجهزة مناسبة للجهد المستمر والتيار المستمر ، وكذلك للجهد المتردد والتيار المتردد . وغالبا تكون متطلبات القدرة لأجهزة القياس هذه عالية نسبيا ، وهذا يعنى أنه يمكن إستخدامها فقط عند قياس تيارات وجهود عالية . ومن مضار هذا النوع من أجهزة القياس توليد كمية كبيرة نسبيا من الحرارة (حوالى ٣٠٠°م) ، إلى جانب الحساسية الشديدة للتحميل . إلا أن لآلية الحركة هذه فائدة عدم الإعتماد على التردد .

وحيث أن الحرارة المتولدة تتناسب مع مربع شدة التيار ، اذا يزود جهاز القياس هذا بأقسام تدريج لوغاريتمية .



شكل ٢٢٥ : تمثيل تخطيطى لجهاز قياس بسلك ساخن

١ — سلك تسخين .
٢ — سلك توتر .
٣ — زنبرك توتر .
٤ — بكرة بمؤشر .

وأحيانا تزود أجهزة القياس بسلك ساخن بأنظمة مضاءلة بالتيار الدوامى . وقد أصبحت هذه الأجهزة ، فى يومنا هذا ، غير شائعة الاستخدام .

(٥) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

سبق وصف الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائى) . وجهاز قياس فرق الجهد فى مجال الحديث عن الشحنات الإستاتيكية الكهربائية (القسم الأول — الفصل الثالث) . وهذا وصف لآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح ، ولآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الاسطوانية .

آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح :

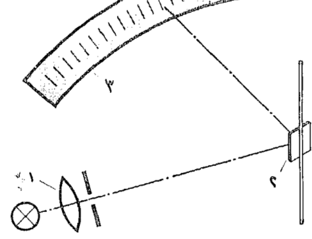
يبين الشكل (٢٢٦) التصميم الأساسى لآلية حركة من نوع اللوح . يوضع بين لوحين معدنيين ثابتين لوح ثالث ، بحيث يكون حر الحركة ومتراكبا على سطحى اللوحين الثابتين .

تنتقل الحركة من ذراع رافعة إلى محور موصل بمؤشر (فى غالبية التصميمات يركب على المحور قطاع مستدير من سبيكة خفيفة الوزن ويسمح له بالمرور عبر مغنطيس لأغراض المضاءلة) .

فإذا سلط جهد على الألواح الثابتة ينحرف اللوح المتحرك وتنتقل الحركة الناتجة عندئذ إلى المؤشر .

شكل ٢٢٦ : آلية حركة استاتيكية كهربائية من نوع اللوح
١ – ألواح ثابتة .
٢ – لوح متحرك .
٣ – نقطة ارتكاز اللوح المتحرك .
٤ – ذراع الرافعة والمحور والمؤشر .

شكل ٢٢٧ : آلية حركة استاتيكية كهربائية اسطوانية
١ – ألواح ثابتة .
٢ – ترتيبة الألواح المتحركة .   ٣ – مرآة .



شكل ٢٢٨ : المؤشر المضى لأجهزة القياس
١ – مصدر ضوء وعدسة .
٢ – مرآة .
٣ – تدريج .

آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الأسطوانية :

يبين الشكل ٢٢٧ التصميم الأساسى لآلية الحركة الأسطوانية . يوضع زوج من الألواح المستديرة المتحركة تبين ألواح مواسع مستدير وتوضع مرآة فى مركز المجموعة المتحركة .

تستخدم هذه المرآة للبيان بواسطة الضوء . وبهذه الكيفية تكون المجموعة المتحركة ذات وزن أخف منها عندما تكون بمؤشر ميكانيكى .

وتوضح نظرية البيان بالضوء فى الشكل ٢٢٨ . يسقط شعاع رفيع من الضوء من مصباح متوهج ، على المرآة عبر عدسة . وتكون الزاوية بين مصدر الضوء والمرآة والتدريج بحيث تظهر بقعة ضوئية على علامة على التدريج عند الصفر . وإذا انحرفت المرآة تتحرك بقعة الضوء على التدريج تبعا لذلك .

تطبيقات أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

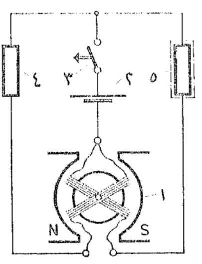
هذه الأجهزة مناسبة فقط ، لقياس كل الجهود المستمرة والمترددة ، وهى لا تصلح للإستخدام فى قياسات الجهد المنخفض . وتستخدم هذه الأجهزة أولا فى معامل وحجرات إختبار الجهود العالية . وحيث أن القوة المسلطة على المجموعة المتحركة تتناسب مع مربع الجهد ، فإن التدريج يزود بأقسام لوغاريتمية .

٣/٤ — آليات الحركة لقياس المقاومة :

تشبه آلية الحركة التى تشتمل عليها أجهزة قياس المقاومات تلك التى تشتمل عليها أجهزة القياس بحديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك ، مع الأخذ فى الاعتبار الأسس المغنطيسية الكهربائية التى تحكم حركة هذه الأجهزة .

وفيما بعد وصف لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، وكذا وصف لقنطرة المقاومة .

شكل ٢٢٩ أساس تشغيل جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع
١ — مغنطيس دائم بأقطاب على هيئة حدوة حصان .
٢ — ملف متقاطع .



شكل ٢٣٠ : رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس المقاومة بملف متقاطع
١ — منظر قطاع لآلية الحركة .
٢ — مصدر الجهد .
٣ — مفتاح كهربائى بذراع .
٤ — مقاوم مقارنة م .
٥ — الشئ المراد قياسه (مقاومة غيرمعروفةم).

(ا) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة :

بالشكل ٢٢٩ تمثيل تخطيطى لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، ويشبه التصميم العام له تماما ذلك الخاص بجهاز القياس بملف متحرك . وهو يختلف عن تصميم جهاز القياس بحديدة متحركة . ويتكون هذا الجهاز من لفيفتين منفصلتين ، موضوعتين بزاوية معينة بالنسبة لبعضهما البعض . وعادة تلف اللفيفتان على إطار ملف واحد مشترك . ولا يثبت فى الملف المتحرك زنبرك لولبى ، لعدم ضرورة وجود قوة لإعادة الضبط . يغذى التيار خلال موصلات على هيئة خوص لينة (وتكون عادة خوصا من الذهب) .

يبين الشكل ٢٣٠ رسما تخطيطيا لدائرة جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، موضحا طريقة تشغيل هذا الجهاز . يوصل أحد طرفى كل لفيفة مع طرف الأخرى . ويؤدى هذا التوصيل إلى تلامسها مع مصدر الجهد . بينما تمر الوصلتان الأخريان خلال المقاومين (٤ ، ٥) ، والمفتاح الكهربائى بذراع ، إلى مصدر الجهد . بهذا تكون اللفيفتان موصلتين على التوازى . إلى جانب هذا فإنهما تنتجان عزوم لى متضادة فى الاتجاه . وعندما يمر تيار خلال ترتيبة الدائرة الكهربائية هذه (بتشغيل المفتاح الكهربائى بذراع) ، ينتج عزمى لى (يكون إتجاه أحدهما فى إتجاه دوران عقارب الساعة ، ويكون اتجاه الآخر فى عكس اتجاه دوران عقارب الساعة) . وإذا كانت المقاومتان متساويتين (م = م) ، لا ينحرف المؤشر ، حيث أن التيارين المارين عبر الملفات يكون لهما نفس الشدة ويؤديان إلى تكوين عزوم لى فى اتجاه عكسى ، ولكن بنفس القوة .

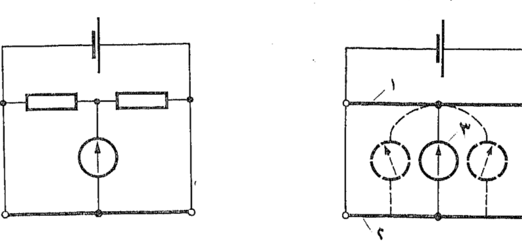
توصل آلية الحركة بحيث ينحرف المؤشر إذا كان التيار المار خلال $م_{س}$ (المقاومة المراد قياسها) له قيمة أعلى ، وهذا يمكن من تقسيم التدريج بالأوم ، بحيث تعطى القراءة بالأوم ، وتكون القياسات بواسطة هذا الجهاز صحيحة فقط فى مدى صغير للقياس .

(ب) قنطرة القياس :

تصلح قناطر القياس التى تعرف أيضا بقناطر المقاومة للقياسات عالية الدقة ، ويستخدم فيها ملف متحرك يدور فى أى اتجاه كآلية حركة . يبين الشكل ٢٣١ أساس تشغيل قنطرة القياس . ويوصل سلكان لهما نفس المقاومة على التوازى بمصدر الجهد . وإذا وصل جهاز القياس بحيث يحدث تلامسا فى المركز ، بين سلكى المقاومة تماما ، فإنه لا يسرى تيار . وإذا تغيرت التوصيلات بالكيفية المبينة بالخطوط المتقطعة فى الشكل ٢٣١ ، يسرى تيار فى جهاز القياس . ويمكن ترتيب الدائرة الكهربائية أيضا بالكيفية المبينة فى الشكل ٢٣٢ .

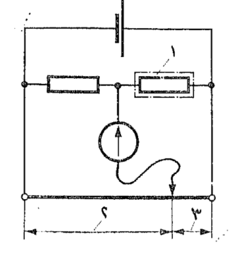
وعلى كل حال ، فسوف لا يمر تيار خلال جهاز القياس الموصل بهذه الكيفية إذا كانت المقاومات وأسلاك المقاومة القيم المناظرة ، ويمر تيار فى جهاز القياس فقط إذا كانت

القنطرة غير متزنة . ويحدث ذلك عندما نستبدل باحدى المقاومتين مقاومة مختلفة . وعند استخدام توصيلة واحدة لجهاز القياس كمجس لاختبار سلك المقاومة على مدى طوله ، توجد نقطة على سلك المقاومة (في نطاق مدى معين من قيمة المقاومة الجديدة المستبدلة) ، حيث يقطع عندها التيار المار فى السلك (الشكل ٢٣٣) .



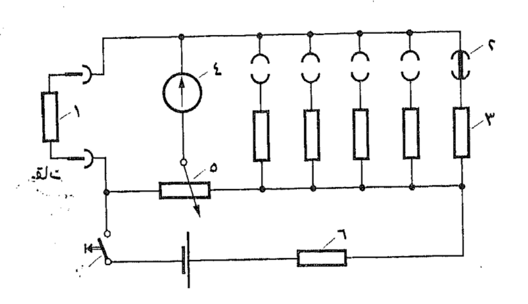
شكل ٢٣١ : أساس قنطرة القياس
١ — سلك مقاوم .
٢ — نفس السلك المقاوم مثل ١ .
٣ — جهاز قياس .

شكل ٢٣٢ : قنطرة قياس بمقاومتين جزئيتين وسلك مقاوم واحد



شكل ٢٣٣ : قنطرة قياس بمقاومة مجهولة
١ — مقاومة مجهولة القيمة .
٢ — طول ١ من سلك المقاومة .
٣ — طول ٢ من سلك المقاومة .

فى الدائرة المبينة فى الشكل ٢٣٢ ، يوصل طرف واحد من جهاز القياس بمركز سلك المقاومة بحيث ينصفه تماما إلى طولين متساويين . فى الشكل ٢٣٣ يكون طولا سلك المقاومة غير متساويين ، لضمان إتزان القنطرة كهربائيا ، فإذا عرفت قيمة مقاومة جزئية واحدة ، أمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة ، من نسبة الأطوال والمقاومة المعروفة .

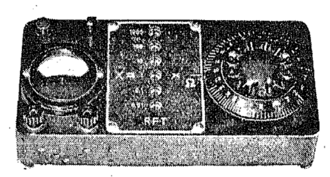


شكل ٢٣٤ : رسم تخطيطى لدائرة قنطرة القياس بأكثر من مدى للقياس

١ — المقاومة المطلوب قياسها . ٢ — ملامسات إصبع .
٣ — مقاومة قياس . ٤ — جهاز قياس .
٥ — مقاوم متغير . ٦ — مقاوم واق .
٧ — مفتاح كهربائى بذراع .

وفى قناطر القياس الصناعية ، يكون لسلك المقاومة شكل ريوستات (مقاومة متغيرة) ، يزود زر إدارته بأرقام . وعند توصيل المقاوم مع المقاومة المجهولة بالقنطرة ، يضبط الريوستات بحيث يبين جهاز القياس القراءة صفر . ويتطابق الرقم على زر الإدارة للمقاوم الدوار ، مع علامة على الصندوق الذى يحتوى عليه تبين قيمة المقاومة المراد قياسها .

وعادة تصمم قناطر القياس من هذا النوع للتشغيل على أكثر من مدى للقياس وينتخب مدى القياس بواسطة إصبع . بالشكل ٢٣٤ رسم تخطيطى ، لدائرة قنطرة قياس ، بمدى متعدد للقياس . ويبين الشكل ٢٣٥ التصميم التجارى لقنطرة قياس صغيرة تستخدم فى الورش .



شكل ٢٣٥ : قنطرة قياس بمقاوم

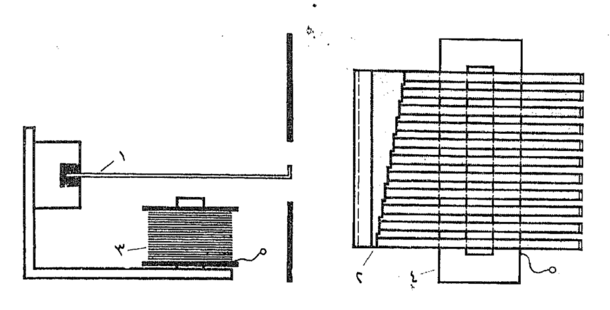
٣|٥ – آليـات الحركة لقياس الترددات :

تقاس الترددات ، بمساعدة أجهزة متعددة ، وعلى أساس طرق مختلفة . وفى مدى التردد المنخفض ، تستخدم أولا عدادات قياس الترددات ذات الرياش ، بينما يفضل فى مدى التردد العالى إستخدام قنطرة . وهذه الأخيرة لا تدخل فى مجال هذا الكتاب .

وفيما يلى وصف لآلية الحركة بالإهتزاز أو بالريشة ، وهى أكثر شيوعا فى الإستخدام .

(أ) جهاز القياس بالريشة :

بالشكل ٢٣٦ تمثيل تخطيطى لآلية الحركة هذه . وهى مكونة من سلسلة من الريش الصلب (يكون عـددها عادة ١١) ، وترتب أعلى مغنطيس كهربائى ، ويكون للرياش الصلب أطوال مختلفة ، كما تكون متزنة بالنسبة لتذبذباتها الطبيعية .

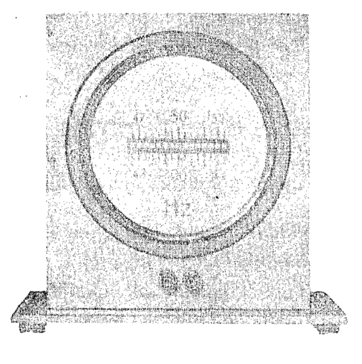


شكل ٢٣٦ : رسم هيكلى لجهاز قياس التردد بريشة

١ – رياش صلب . **٢ – مسقط علوى لرياش الصلب .**

٣ – مغنطيس كهربائى . **٤ – مسقط علوى للمغنطيس الكهربائى .**

إذا ضبطت الرياش الصلب على مدى قياس معين . فإن هذه الرياش ، والتى يكون تذبذبها الطبيعى ضعف تذبذب التردد فى المغنطيس الكهربائى ، تستجيب للتذبذبات القوية . وهذا يعنى أنه إذا سلط تيار متردد بتردد ٥٠ هز على المغنطيس الكهربائى ، فإن الريشة المضبوطة على ١٠٠ تذبذب تهتز بقوة، والريشة المواجهة تتذبذب تذبذبا ضئيلا جدا ، أو تفشل فى الحركة تماما . والشكل (٢٣٧ – ١) يبين المسقط الأمامى لجهاز قياس التردد بريشة . والشكل (٢٣٧ – ٢) ، يبين المسقط الجانبى له .





شكل ٢٣٧ : جهاز قياس التردد بريشة
١ – مسقط أمامى .
٢ – مسقط جانبى .

(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة :

يستخدم هذا الجهاز أولا للتأكد من ترددات المآخذ الرئيسية للتيار المتردد . ولهذه الأجهزة أهمية خاصة بالنسبة للقياسات التى تجرى على المولدات التى تعمل على التوازى .

٦/٣ – آليات الحركة لقياسات القدرة :

يمكن قياس قدرة نظام (فى حالة التيار المستمر ج × ت ،وفى حالة التيار المتردد ج × ت × جيب تمام Φ) ، مباشرة بواسطة آليات حركة ديناميكية كهربائية . ولهذا الغرض تكون أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية اللا حديدية وذات القلب الحديد مناسبة خصيصا لذلك . وفيما يلى وصف لآلية حركة ديناميكية كهربائية لا حديدية .

(ا) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية :

يبين الشكل (٢٣٨) تصميم آلية حركة تشبه تلك الخاصة بجهاز القياس بالملف المستدير تقريبا . يحتوى الملف المستدير على ملف متحرك ، توصل نهايتاه بزنبركات لولبية مرتبة خارج الملف المستدير . وعلاوة على ذلك صممت الزنبركات اللولبية لإحتجاز الملف المتحرك

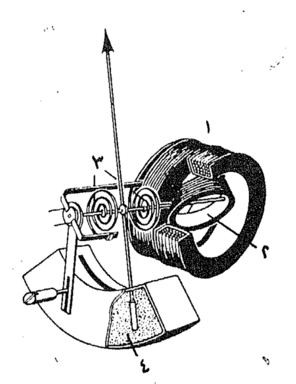
فى حالة عدم وجود تيار عمودى على المحور المركزى للملف المستدير . ويركب على محور الملف المتحرك مؤشر ، ونظام مضاءلة هوائى .

وإذا وصلت الملفات على التوازى ، أو على التوالى ، أو لم توصل ، فذلك ليس بذى بال . وعلى كل ، ينتج عزم لى عندما يمر تيار يحرك الملف المتحرك . وتعيد الزنبركات اللولبية الملف المتحرك (وبالتالى المؤشر) إلى وضعه الأصلى .

(ب) تطبيق أجهزة القياس الديناميكية الكهربائيـة :

مع أن هذا النوع من آلية الحركة يصلح لقياس الجهد وشدة التيارات ، إلا أنه يستخدم أولا لقياسات القدرة ، حيث أن القدرة التى يتطلبها هذا الجهاز تكون عالية نسبيا . ولهذا تستخدم هذه الأجهزة غالبا فى الهندسة الكهربائية .

وهى تصلح لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، حيث أن عزم اللى المنتج لا يتوقف على اتجاه التيار . ويمكن استخدام أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية اللاحديدية فقط فى الأماكن التى لا تتداخل فيها المجالات المغنطيسية معها (وعلى عكس هذا ، فآليات الحركة الديناميكية الكهربائية بقلب حديد تكون أقل حساسية فى هذا المجال) .



شكل ٢٣٨ : تصميم آلية حركة ديناميكية كهربائية
١ – ملف مستدير ثابت .
٢ – ملف متحرك .
٣ – زنبركات لولبية .
٤ – نظام مضاءلة هوائى .

٧/٣ – الترقيم على أجهزة القياس (الشكل ٢٣٩) .

يمكن بسهولة تمييز أى نوع من أجهزة القياس الكهربائية بالنسبة للغرض المصمم من أجله ، وهو قياس الجهود ، أو شدة التيارات ، أو القدرات . ويمكن أيضا فى أغلب الحالات تصميم المدى المسموح به لجهاز القياس الكهربائى . وبالنسبة للمكونات الداخلية لجهاز القياس ،

مثل نوع آلية الحركة ، ومقوم جهاز القياس المستخدم ، وطبيعة التيار فإنه لا يمكن تميز ها ببساطة بمجرد النظر . لهذا السبب ترقم أجهزة القياس الكهربائية برموز تعطى عادة على التدريج . وقد قننت أغلبية هذه الرموز دوليا .

وتبين القائمة التالية الرموز الأكثر أهمية ومدلولاتها (الشكل ٢٣٨ – أ) .

٨/٣ – إطالة مدى القياس :

تتعلق البيانات التالية بأجهزة القياس بحديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك ويبين الشكل (٢٤٠) الرمز التخطيطىلآلية الحركة .

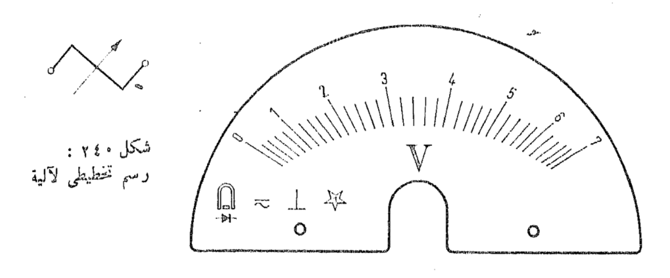
شكل ٢٣٨ أ :

١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨

45°

٩ ١٠ ١١ ١٢ ١٣ ١٤ ١٥ ١٦ ١٧ ١٨ ١٩

الرمز	المعنى
١	جهاز قياس بحديدة متحركة
٢	جهاز قياس بملف متحرك
٣	جهاز قياس إستاتيكى كهربائى
٤	جهاز قياس بسلك ساخن
٥	جهاز قياس ديناميكى كهربائىلا حديدى
٦	جهاز قياس ديناميكى كهربائى بقلب حديد .
٧	مقوم جاف
٨	جهاز قياس بملف متحرك بمقوم جاف.
٩	رمز جهد الاختبار (نجمة بدون رقم : ٥٠٠ فلط ، نجمة برقم ٢ : ٢٠٠٠ فلط ... إلخ) .
١٠	تصحيح الصفر
١١	تيار مستمر
١٢	تيار متر دد
١٣	تيارات مستمرة ومتر ددة
١٤	جهاز قياس ثلاثى الأطوار بآلية حركة واحدة .
١٥	جهاز قياس ثلاثى الأطوار بثلاث آليات حركة .
١٦	وضع رأسى فى الاستخدام العادى .
١٧	وضع أفقى فى الإستخدام العادى .
١٨	وضع مائل فى الإستخدام العادى .
١٩	وضع خدمة ، زاوية منصوص عليها .



شكل ٢٤٠ :
رسم تخطيطي لآلية

شكل ٢٣٩ : أمثلة للترقيم على أجهزة القياس : البيانات المعطاة على التدريج تبين أن هـذا الجهاز مزود بملف متحرك ومقوم جاف، وأنه مناسب لكل من التيار المستمر والتيار المتردد، وأنه يجب استخدامه فى وضعه الرأسى فقط ، وأن جهد الاختبار هو ١٠٠٠ فلط

(ا) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليـات الحركة :

يقال عن آلية حركة أنهـا أحسن من غيرها إذا كان عزم ليها المرتبط بكتلة العضو المتحرك (فى هذه الحالة ، يكون العضو المتحرك هو ملف متحرك ، بمحور ، وبمؤشر) ، أعلى من عزم آلية الحركة الأخرى . ونسبة عزم اللى إلى كتلة العضو المتحرك يعول عليها بالنسبة لجودة آلية الحركة . وللحصول على نسبة مرضية ، يجب أن تكون الزنبركات اللولبية ، على سبيل المثال ، قوية بقدر كاف لاحتجاز المؤشر فى الوضع الصحيح ، وبدقة ثابتة . وعلى الجانب الآخر ، فإن ذلك يعنى أن عزم اللى يجب أن يكون له أيضا قيمة معنية . بهذا ترتفع القدرة التى تتطلبها آلية الحركة إلى مستوى معين ، وهذا يبين أن آلية الحركة يجب أن تتطابق مع مطلبين :

١ — يجب أن يكون لآلية الحركة عامل جودة عال .

٢ — يجب أن تتطلب آلية الحركة أصغر كمية بقدر الإمكان من القدرة اللازمة للتشغيل .

والقدرة التى تتطلبها آليات الحركة فى الأميترات تكون أصغر كلما صغر حاصل ضرب المقاومة الداخلية $م_{د}$ للآلية فى مربع شدة التيار $ت_{ا}$ ، عند الانحراف الكامل على التدريج ، وعليه تكون القدرة التى تتطلبها آلية الحركة .

$$قد_{ا} = م_{د} \times ت_{ا}^{٢} .$$

وبالتالى ، يكون للأميتر ذى متطلب القدرة الأقل مقاومة داخلية أقل .

والقدرة التى تتطلبها آليات الحركة المستخدمة فى الفلطمترات ، تكون أصغر إذا كانت المقاومة الداخلية لكل فلط أكبر . ويعبر دائما عن هذه التسمية $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$.

النسبة $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$	القدرة التى تتطلبها آلية الحركة $ت_ا$ بالملى أمبير
١٠٠	١٠,٠
٥٠٠	٢,٠
١٠٠٠	١,٠
١٠٠٠٠	٠,١

(ب) إطالة مدى القياس للفلطمترات :

تعين قيمة المقاومة الداخلية $م_د$ ، المتعلقة بمدى معين للقياس للجهد ج ، بواسطة تيار آلية الحركة $ت_ا$:

$$م_د = \frac{ج}{ت_ا} .$$

وإذا أعطيت الخواص المميزة لآلية الحركة $ت_ا$ ، $م_د$ ، يمكن حساب المقاومة $م_ج$ التى يجب إضافتها بالتوصيل على التوالى ، بالنسبة لمدى جهد معين ج ، وذلك من الصيغة :

$$م_ج = \frac{ج}{ت_ا} - م_د$$

مثـــال :

ما مقاومة التوالى لفلطمتر ، مدى قياسه من صفر إلى ٥٠٠ فلط ، إذا كانت المقاومة الداخلية $م_د$ = ١٠ ، وتيار آلية الحركة $ت_ا$ = ٨ ملى أمبير ؟

المعطيات : ج = ٥٠٠ فلط

$ت_ا$ = ٨ ملى أمبير

$م_د$ = ١٠ Ω

المطلوب : مقاومة التوالى $م_ج$

الحـل :

$$= \frac{ج}{ت_م} - م_د$$

$$= \frac{٥٠٠ \times ١٠٠٠}{٨} - ١٠$$

$$= ٦٢٥٠٠ - ١٠$$

$$= ٦٢٤٩٠ \ \Omega$$

لكى يبين جهاز القياس جهد ٥٠٠ فلط عند إنحراف كامل على التدريج ، يجب توصيل مقاومة قيمتها ٦٢٤٩٠ Ω على التوالى مع آلية الحركة .

بالشكل ٢٤١ رسم تخطيطى لجهاز قياس بثلاثة مدى لقياس الجهود .

وحيث أن $م_ج$ هى نفسها المقاومة $م_ج$ ، بالمعادلة السابقة ، فيمكن تعيين مدى القياس الثلاثة بالطريقة التالية :

$$(١) \quad م_{ج١} = \frac{ج}{ت_م} - م_د$$

$$(٢) \quad م_{ج٢} = \frac{(ج٢ - ج١)}{ت_م}$$

$$(٣) \quad م_{ج٣} = \frac{(ج٣ - ج٢)}{ت_م}$$

وإذا أريد إضافة مدى للقياس أخرى ، يمكن تعيين مقاومات التوالى الإضافية اللازمة ، وذلك بنفس الطريقة .

(ج) إطالة مدى القياس للأميترات :

إذا استخدم جهـاز القياس لإجراء قياسات لصالح المستهلك ، فى هـذه الحالة يجب أن يكون لجهـاز القياس مقاومة داخلية صغيرة جدا ، إذا استخدم كأميتر ، حيث أنه فى هذه الحالة يوصل على التوالى فى الدائرة الكهربائية . ومن قوانين الدوائر والشبكيات الكهربائية ،

نعلم أنه فى حالة توصيل مقاومتين على التوازى ، تكون المقاومة الإجمالية أصغر من أصغر مقاومة فردية . وعلى ذلك ، يكون من البديهى توصيل مقاومة أخرى على التوازى مع آلية الحركة ، وذلك لتعيين مدى القياس المستخدم لقياس شدة تيار معينة . وحيث أنه فى أغلب الأحيان تصنع لفات الملفات المتحركة من سلك من النحاس ، فإن كمية من الحرارة تتولد فى الملف الحامل للتيار ، تؤثر على المقاومة $م_د$. لهذا السبب ، فعند استخدام آليات حركة كأميترات يجب توصيل مقاوم $م_ج$ مصنوع من مادة لا تتأثر بالحرارة (مثل المنجنين)، لها قيمة لا تقل عن ٤ × $م_د$ ، وذلك على التـوالى مع آليـة الحركة . بالشكل ٢٤٢ رسم تخطيطى لدائرة أميتر .

وإذا رمز لمدى القياس ، المرغوب فيه لأميتر ، بالرمز ت ، يمكن إيجاد مقاومة التوازى $م_ن$ ، وذلك بالطريقة الآتية :

$$م_ن = \frac{(م_د + م_ج)}{(ت - ت_م)} \times ت_م$$

شكل ٢٤١ : فلطمتر بثلاثة مدى للقياس

١ – مدى القياس I مع $م_{ج١}$

٢ – مدى القياس II مع $م_{ج٢}$

٣ – مدى القياس III مع $م_{ج٣}$

٤ – آلية حركة .

مثـال :

استخدمت آلية الحركة المستخدمة فى المثال السابق ، كأميتر بمدى قياس من صفر إلى ٠,٥ أمبير . فما قيم مقاومات التوالى ومقاومات التوازى ؟

المعطيات : ت = ٠,٥ أمبير

$ت_م$ = ٨ ملى أمبير

$م_د$ = ١٠ Ω

المطلوب : $م_{ج}$ ، $م_{ن}$

الحـل :

$$(١)\quad م_{ج} = ٤ \times م_{د} = ٤ \times ١٠ = ٤٠\ \Omega$$

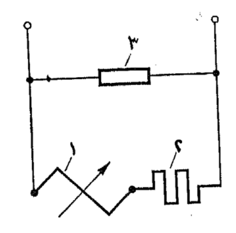
$$(٢)\quad م_{ن} = \frac{(م_{د} + م_{ج})}{ت - ت_{أ}} \times ت_{أ} = \frac{١٠ + ٤٠}{٠,٥ - ٠,٠٠٨} \times ٠,٠٠٨$$

$$= \frac{٥٠}{٠,٤٩٢} \times ٠,٠٠٨$$

$$= ١٠١,٧ \times ٠,٠٠٨$$

$$\cong ٠,٨١٤\ \Omega$$

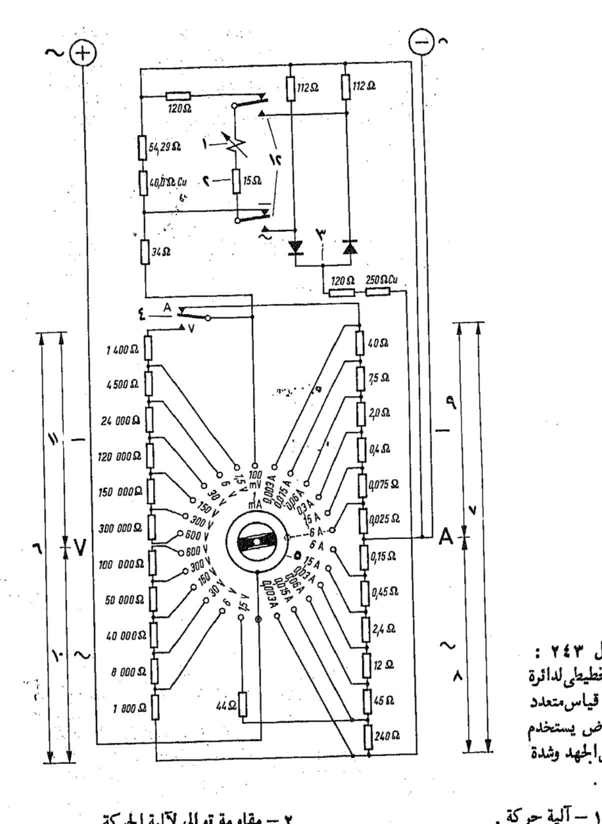
فى هذه الحالة ، تكون لمقاومات التوالى مقاومة قيمتها ٤٠ Ω ، ولمقاومات التوازى مقاومة قيمتها حوالى ٠,٨١٤ Ω ، إذا كان مدى قياس الأميتر من صفر إلى ٠,٥ أمبير .



شكل ٢٤٢ : أميتر بمدى واحد للقياس
١ – آلية حركة .
٢ – مقاومة توالى $م_{ج}$
٣ – مقاومة توازى $م_{ن}$

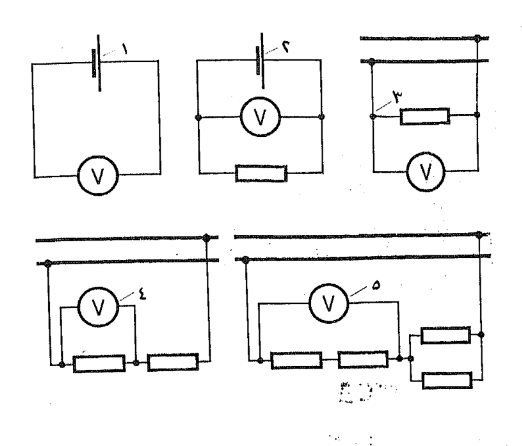
(د) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهود وشدة التيارات :

يبين الشكل ٢١٩ جهاز قياس نقالى متعدد الأغراض ، وتوجد هذه الأجهزة بتصميمات متعددة ، وبمدى للقياس مختلفة . بالشكل ٢٤٣ رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض ، يستخدم لقياس الجهود وشدة التيارات ، ويستخدم هذا التصميم كثيرا فى أعمال الإصلاح .



شكل ٢٤٣ : رسم تخطيطي لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض يستخدم لقياس الجهد وشدة التيار .

١ — آلية حركة .
٢ — مقاومة توالى لآلية الحركة .
٣ — مقوم قياس .
٤ — مفتاح كهربائى مغير للجهد وشدة التيار
٥ — مفتاح كهربائى منتخب للمدى مضبوط للتيار المستمر بشدة لغاية ٦ أمبير .
٦ — مقاومات توالى لقياسات الجهد .
٨ — مدى التيار المتردد .
٧ — مقاومات توازى لقياسات التيار .
٩ — مدى التيار المستمر .
١٠ — مدى الجهد المتردد
١١ — مدى الجهد المستمر .
١٢ — مفتاح كهربائى مغير لآلية الحركة (عند تشغيل المفتاح الكهربائى المنتخب للمدى) ، تشغل أيضا المفاتيح الكهربائية (٤) ، (١٢) .



شكل ٢٤٤ :
رسم تخطيطى يبين ترتيبات لقياسات الجهد

١ — فلطمتر على التوازى مع مصدر الجهد .
٢ — فلطمتر على التوازى مع مصدر الجهد ومقاوم .
٣ — فلطمتر على التوازى مع نظام التغذية ومقاوم .
٤ — فلطمتر على التوازى مع مقاوم على التوالى .
٥ — فلطمتر على التوازى مع مقاومين فى شبكية مختلطة فى (٤) ، (٥)
لا يقاس الجهد عبر مصدر الجهد ولكن يقاس هبوط الجهد فى المقاومات) .

٩/٣ — وصف لبعض دوائر قياس :

دوائر قياس الجهـــد :

لقياس الجهود ، يوصل الفلطمتر على التوازى مع مصدر الجهد ، واحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٤) .

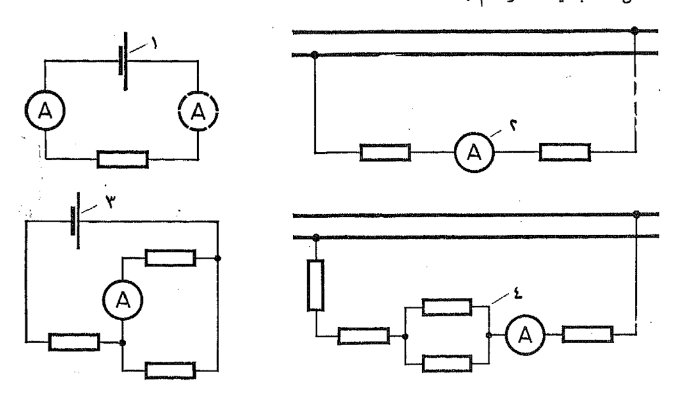
دوائر قياس التيـــار :

لقياس شدة التيارات ، يوصل الأميتر على التوالى مع أحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٥) .

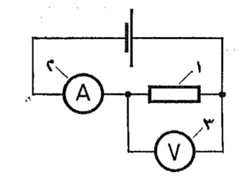
(ا) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد :

تسمى قياسات المقاومات بواسطة جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع ، وبواسطة قنطرة المقاومة ، « بطرق قياس المقاومة المباشرة » . وتكون الطرق غير المباشرة ، هى الطرق التى

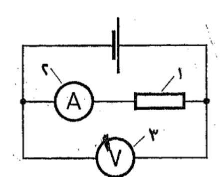
تحسب فيها الكمية المجهولة من كميتين مقاستين ، أو أكثر ، وكما هو معروف جيدا ، يمكن حساب المقاومة م من خارج قسمة $\frac{ج}{ت}$. وهذا يعنى، أنه إذا أمكن قياس الجهد وشدة التيار ، يمكن حساب قيمة المقاومة م .



شكل ٢٤٥ : رسم تخطيطى لدائرة تبين ترتيبات لقياسات التيار
١ — أميتر على التوالى مع مقاوم . ٢ — أميتر على التوالى مع مقاومين .
٣ — أميتر موصل لقياس فرع من الدائرة . ٤ — أميتر فى شبكية مختلطة .



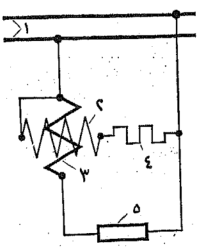
شكل٢٤٦ : دائرة قياس مهيأة لقياسات الجهد
١ — المقاومة المراد قياسها .
٢ — أميتر .
٣ — فلطمتر .



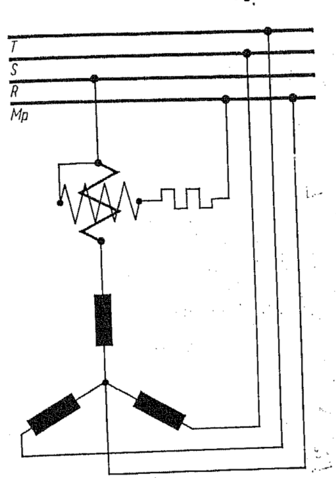
شكل٢٤٧ : دائرة قياس مهيأة لقياسات التيار
١ المقاومة المراد قياسها .
٢ — أميتر .
٣ — فلطمتر .

ويبين الشكلان ٢٤٦ ، ٢٤٧ تمثيلا لدائرتى قياس لتعيين المقاومة .

ومن هذه الأشكال ، يتبين أنه لا يمكن تجنب أخطاء القياس . وفى الشكل ٢٤٦ تشتمل قراءة الفلطمتر على الهبوط فى الجهد ، الذى يسببه الأميتر . وفى الشكل ٢٤٧ ، تشتمل قراءة الأميتر على تيار الفرع المار فى الفلطمتر . ويصبح تعيين المقاومة بطريقة غير مباشرة أقل دقة كلما كانت القدرة التى تتطلبها أجهزة القياس المستخدمة أكبر .



شكل ٢٤٨ : قياس القدرة فى شبكية تيار مستمر أو شبكية تيار متردد أحادى الطور
١ — شبكية .
٢ — ملف جهد لجهاز قياس القدرة .
٣ — ملف تيار لجهاز قياس القدرة .
٤ — مقاوم توالى .
٥ — جهاز كهربائى .

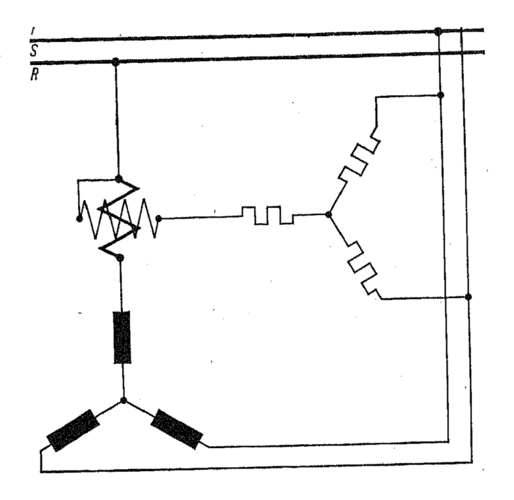


شكل ٢٤٩ : قياس القدرة بواسطة فلطمتر فى نظام بأربعة أسلاك . فى هذه الحالة تكون النتيجة دقيقة إذا كان المحول متماثلا.

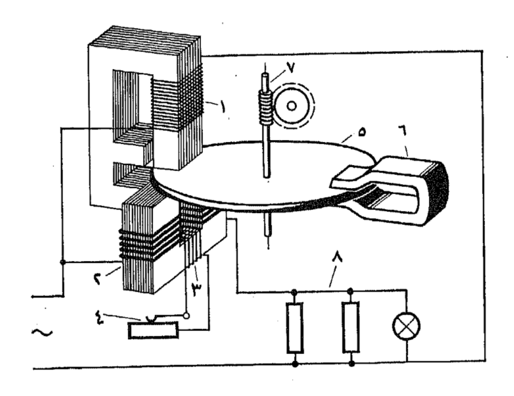
وعلى أساس هذه الطريقة يمكن تعيين المقاومات الأومية ، وبدرجة مرضية من الدقة ، إذا أعدت الدائرة لقياسات التيار ، وكانت المقاومة الداخلية للأميتر أكبر ١٠٠ مرة من أصغر قيمة من المقاومة المراد إيجادها . وفى حالة ترتيبة دائرة لقياسات الجهد ، تكون المقاومة الداخلية للفلطمتر أكبر ١٠٠ مرة من قيمة المقاومة المراد قياسها .

(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة : (الشكل ٢٤٨)

وهى أجهزة قياس القدرة ، والتى تعرف أيضا بالواطمترات (الشكل ٢٤٩ والشكل١٢٥) ، وهى تشتمل على آليات حركة ديناميكية كهربائية ، ومقاوم توالى لملف الجهد .



شكل ٢٥٠ : قياس القدرة بواسطة فلطمتر فى نظام ثلاثة أسلاك ونقطة تعادل صناعية وفى هذه الحالة، تكون القيمة المقيسة دقيقة فقط إذا كان الحمل متماثلا .



شكل ٢٥١ : قياس الشغل الذى يبذله تيار بواسطة جهاز قياس حثى .

١ — ملف الجهد . ٢ — لفيفات مساعدة . ٣ — ملف تيار .
٤ — مقاوم متغير . ٥ — قرص ألومنيوم . ٦ — مغنطيس مضاءلة .
٧ — حلزون نقل للعداد . ٨ — أجهزة كهربائية .

. **(ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار :**

يحصل على الشغل الذى يبذله التيار من ج × ت × ز للتيار المستمر ، ومن ج × ت × ز × جتا Φ للتيار المتردد . ويقاس الشغل الذى يبذله التيار المستمر بواسطة جهاز قياس الساعة بمحرك تيار مستمر ، أو بواسطة أجهزة قياس كيميائية كهربائية .

ويبين الشكل (٢٥١) تصميم ورسم تخطيطى لدائرة جهـــاز قياس الساعة من النوع الحثى ، والذى يعتبر جهازا نوعيا لقياس الشغل الذى يبذله التيار المتردد .

وفى هـــذا الجهاز ينتج عزم لى فى قرص من الألومنيوم دوار ، وذلك بواسطة مغنطيسين كهربائيين ، يكونان مع بعض زاوية قائمة ، يحمل أحدهما التيار ، ويوصل الجهد عبر الثانى ، ويوجد ملف مساعد موصل بمقاومة متغيرة ، وذلك لإنتاج إزاحة طور . يضبط عزم اللى ، ومضاءلة التيار الدوامى التى يسببها المغنطيس ، بحيث تدور القرص متناسبا مع ج × ت × جتا Φ . تنقل حركة الدوران إلى عداد ميكانيكى ، ويبين الشغل الذى يبذله التيار معبرا عنه بالكيلو واط ساعة (ك . و . س .) .

via عن طريق
visible signal إشارة مرئية
voltage drop هبوط الفلطية
voltage source مصدر الجهد

wave موجة
wave filter مرشح موجة
wave guide دليل الموجة
wave length طول الموجة

weston normal cell
خلية ويستون الإمامية
windings لفيفات
wireless لاسلكى
wire wound resistor
مقاوم من السلك الملفوف
work شغل

zero position وضع الصفر

size مقاس – طراز
slot شقب
smelting furnace فرن صهر
socket outlet مخرج مقبس
soft iron حديد رخو (مطاوع)
specimen عينة
speed of rotation سرعة الدوران
spherical كروى
spot بقعة
stability اتزان – استقرار
star connection (star junction) توصيلة نجمة

startability المقدرة على بدء الحركة
stationary ثابت
stator عضو ساكن
steatite إستيتيت (حجر صابونى)
strip خوصة
structure تركيب
switch gear مجموعة مفاتيح التشغيل
switching devices نبائط تشغيل المفاتيح
synchronization تزامن
synchronously بتزامن
system نظام

temporal مؤقت
tensile force قوة شد
rension توتر
terminal طرف توصيل
testing إختبار
therapy علم العلاج الطبى
three - phase ثلاثى الطور
thermal حرارى
thermistor ترمستور
thermoplastics لدائن حرارية
thermosetting plastics لدائن مصلدة حراريا

time constant ثابت زمن
torque عزم لى
torsion balance ميزان إلتواء
toy motor محرك كهربائى دمية
transducer محول طاقة
transferring نقل
transformer محول
transformation تحويل
transient deflection إنحراف عابر
transmissibility منقولية (قابلية للنقل)
transmission نقل
transmitter مرسل
trigonometric مثلثية
trimming تشذيب المصبوبات
tubular أنبوبى
tuning oscillation دائرة موالفة التذبذبات
turns لفات
two - phase ثنائى الطور
type طراز

vacuum فراغ
variable متغير
vector متجه
velocity سرعة

precision دقة
press board ورق مضغوط
primary circuit دائرة ابتدائية
primary magnetomotive force قوة دافعة مغنطيسية إبتدائية
propagation إمتداد – انتشار – انتقال
property خاصية
prototype meter متر إمامى

quotient خارج قسمة

radial فى اتجاه نصف القطر
range مدى
rate معدل
rated voltage جهد مقنن
reactance مفاعلة
rseactive غير فعال
reading قراءة
recording مسجل
reciprocal مقلوب
rectangle مستطيل
rectifier مقوم
reed ريشة
regulating switch مفتاح منظم كهربائى
relative permeability نفاذية نسبية
relay متابع – مرحل
remanence إستبقائية
rheostat ريوستات (مقاومة صغيرة)
rotating machine مكنة دوارة
rotor عضو دوار

repulsion تنافر
residual magnetism مغنطيسية متبقية
resistance مقاومة
resistance bridge قنطرة قياس المقاومة
resistivity مقاومية
resistor مقاوم

saturation تشبع
saturation limit حد التشبع
scale تدريج
scanning مسح
schematic representation تمثيل تخطيطى
screening حجب
screwdriver مفك
secondary current تيار ثانوى (تيار الملف الثانوى)
sector قطاع
selection إختيار
selector switch مفتاح إنتقاء كهربائى
self - induction حث ذاتى
semi - conductor شبه موصل
semolina صميذ
sensitive حساس
shaft عمود إدارة
short circuit دائرة قصر
short wave موجة قصيرة
sine جيب الزاوية
single phase أحادى الطور
sinusoidal جيبى

magnetic مغنطيسى
magnetic field strength شدة المجال المغنطيسى
magnetism مغنطيسية
magnetite مغنطيت (حجر المغنطيس)
magnetization مغنطة – تمغنط
magnetized ممغنط
magnetometer مغنطومتر (جهاز قياس شدة المجالات اللاكهربائية)
magnitude مقدار
measuring bridge قنطرة قياس
mechanical ميكانيكى
media أوساط
medium وسط
mesh circuit دائرة مقفلة
molecule جزئ
moving coil جهاز قياس بملف متحرك
moving iron instrument جهاز قياس بحديدة متحركة
mutual متبادل

necked - down مخصر
negative charge شحنة سالبة
network شبكية
neutral point نقطة تعادل
non-conductor غير موصل
non-hardened غير صلد
ohmic resistance مقاومة أومية
oscillations تذبذبات
over lapping متراكب

palm راحة اليد
paper lining بطانة من الورق
parabolic heater مسخن بشكل قطع مكافئ
paramagnetic بارا مغنطيسى
peak value قيمة الذروة
peculiarities خصوصيات
pendulum بندول
period دورة
periodicity دورية
periodic time دورة (زمن دورى)
permanent دائم
permeability نفاذية
permissible مسموح به
phenomena ظاهرة
physician فيزيقى
physiological فسيولوجى
pivot محور ارتكاز
plastics لدائن
polarity قطبية
polarization إستقطاب
pole قطب
pole changer مغير القطب
portable نقالى
potentral difference فرق الجهد
potentiometer بوتنشيومتر (مقاومة قياس فرق الجهد)
power factor عامل القدرة
power meter عداد القدرة
power station محطة القوى

helical spring زنبرك لولبى
hertz هيرتز (هز)
h.f. reciever مستقبل تردد عالى
h.f. transmitter مرسل تردد عالى
high frequency تردد عالى
homogeneous متجانس
hourse shoe magnet
مغنطيس على شكل حدوة حصان
hypotenuse وتر
hysteresis loop
منحنى أنشوطى للمغنطيسية المتبقية

immersion heater مسخن غاطس
impregnated مشرب بالزيت
incandescent مصباح متوهج
inconformity مطابق
indicating instrument جهاز مبين
indicator مبين
indivisible غير قابل للانقسام
induced current تيار منتج بالحث
inductance محاثة
inductive حثى
inductor محث
influence تأثير
inhomogeneous غير متجانس
in parallel على التوازى
input دخل
in series على التوالى
installations تركيبات
instantaneous لحظى

insulation loss فقد العزل
insulating material مادة عازلة
interdependance اعتماد متبادل (تبادل)
interference تداخل
interlinking توصيل متبادل
interrelation علاقة متبادلة
intensity شدة
ironless لا حديدى

key switch مفتاح كهربائى بذراع
knob زر

lag تخلف
laminated fabrics رقائق قماش
laminated papers رقائق ورق
lamp holder دواة مصباح
leakage current تيار تسرب
lever arm ذراع الرافعة
limits of error حدود الخطأ
lightening arrester مانعة صواعق
linear خطى
lines of flux خطوط الفيض
live part جزء مكهرب
load حمل
longitudinal section قطاع طولى
loop حلقة
low voltage جهد منخفض

mains مأخذ رئيسى
magnet مغنطيسى

electric charges شحنات كهربائية
electric field مجال كهربائى
electricity كهرباء
electricity engineering هندسة كهربائية
electric meter عداد كهربائى
electric power قدرة كهربائية
electrifiable قابل للتكهرب
electrification كهربة
electro - chemical process
عمليات كيميائية كهربائية
electrode إلكترود
electrodynamic ديناميكى كهربائى
electrolytic إليكتروليتى
electromagnet مغنطيس كهربائى
electromagnetic مغنطيس كهربائى
electrometer
جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى
electromotive force قوة دافعة كهربائية
electron dificiency قصور الإلكترون
electron excess إلكترون زائد
electroscope
مكشاف كهربائى (إلكتروسكوب)
electrostatic إستاتيكى كهربائى
electrothermal switch
مفتاح حرارى كهربائى
element عنصر
elongation إستطالة
energy طاقة
equation معادلة — صيغة
equilibrium إتزان

equipments معدات
equivalent مكافىء
expansion تمدد

factor عامل
faulty connection
توصيلة خاطئة (بها عطل)
feed back تغذية مرتجعة
ferromagnetic substance
عنصر عالى الإنفاذية المغنطيسية
field مجال
filament resistor مقاوم فتيلة التسخين
finger contact ملامس الإصبع
flasher وحدة وماضة
flux فيض
foils رقائق
frequency تردد
function دالة
fundamentals أساسيات

galvanic cell
عمود جلفانى (خلية جلفانية)
gap ثغرة
generation توليد
generator مولد
geometric هندسى
glow lamp مصباح متوهج
graduation تدريج

harmonic oscillations تذبذبات توافقية

commutator	عضو تبديل
compact	متضام
conducting plate	لوح موصل
conductivity	موصلية
conductor	موصل
configuration	تشكيل
constant	ثابت
contactor	ملامس — زر تلامس
ontinuity	استمرارية
controlling	تحكم
converter	محول طاقة
coresheet	رقائق الصلب
cosine	جيب تمام
coulomb's law	قانون كولوم
counter	عداد
cross - coil ohmmeter	جهاز قياس بالملفات المتقاطعة
crystalline	بلورى
erystal structure	تركيب بلورى
current intensity	شدة التيار
cycle	دورة
cylindrical	اسطوانى

damping	مضاءلة
decay	اضمحلال
decisive factor	عامل حاسم
deflection	انحراف
delta connection	توصيلة دلتا
density	كثافة
deposited	مرسب
deviation	انحراف
device	نبيطة
diagramatic	تخطيطى
diamagnetic	دايا مغنطيسى
dielectric	وسط عازل
dielectric strength	متانة العزل
dim light	ضوء خافت
direct current	تيار مستمر
disc	قرص
discharge lamp	مصباح تفريغ
displacement	إزاحة
divisibility	قابلية للتجزئة
division	قسم
drift velocity	سرعة الانسياق
driving energy	طاقة دافعة
duration	دوام
dynamic effect	تأثير ديناميكى
dynamo	دينامو

earthing	تأريض
earth leakage	تسرب للأرض
eddy currents	تيارات دوامية
effective length	طور فعال
efficiency	كفاءة — كفاية
elder pith electroscope	مكشف كهربائى بكرة من نخاع البلسان
electrical circuit	دائرة كهربائية
electrical potential	جهد كهربائى
electrical tension	جهد كهربائى
electric appliances	مستخدمات كهربائية (أجهزة تعمل بالكهرباء)

المصطلحات الفنية

English	العربية
absolute	مطلق
accumulators	مراكم
air gap	ثغرة هوائية
alloy	سبيكة
alternating	متردد
amber	كهرمان
ammeter	أميتر (جهاز قياس شدة التيار)
ampere balance	ميزان الأمبير
amplifier	مكبر
angular	زاوى
annealing furnace	فرن تلدين (تخمير)
antenna	هوائى
anticlockwise direction	اتجاه عكس عقارب الساعة
armature	عضو إنتاج
arrangements	ترتيبات
atom	ذرة
atomic theory	النظرية الذرية
attraction	تجاذب
asynchronous	لاتزامن
axle	محور
bar magnet	قضيب مغناطيسى
bushing insulator	عازل نفاذى
buzzer	زنان
calibration	معايره
capacitance	مواسعة
capacitive reactance	مفاعلة سعوية
capacitive resistance	مقاومة سعوية
capacitor	مواسع (مكثف كهربائى)
casing	غلاف
cell switch	مفتاح خلايا كهربائى
ceramic	خزفى
charges	شحنات
charging by influence	شحن بالتأثير
choke coil	ملف كابح للتيار
eharacteristics	خصائص مميزة
circular path	ممر دائرى
circular section	مقطع دائرى
circuit arrangement	ترتيبة دائرة
circuit breaker	قاطع دائرة
circuit diagram	رسم دائرة
circuit elements	عناصر الدائرة
classifications	تصنيف
clockwise direction	اتجاه عقارب الساعة
clutches	قابض
coefficient	معامل
coercive	قوة قهرية
coercivity	قهرية
coil	ملف
coil frame	إطار الملف
communications	اتصالات

سلسلة الأسس التكنولوجية

١ – الجداول الفنية (–)

٢ – الكيمياء الصناعية

٣ – الرسم الفنى (–)

٤ – أشغال الخشب (التجارة)

٥ – التركيبات الكهربائية (× +)

٦ – هندسة السيارات (× +)

٧ – أشغال قطع المعادن (× +)

٨ – اللحام بالغاز حـ ١ (–)

٩ – اللحام بالغاز حـ ٢ (–)

١٠ – الالكترونات

١١ – الخرطة

١٢ – الأمان الصناعى

١٣ – براء التجميع

١٤ – هندسة الموتوسيكلات

١٥ – النظائر فى البحث والصناعة

١٦ – الأساسيات الكهربائية حـ ١

١٧ – الأساسيات الكهربائية جـ ٢ (×)

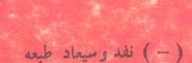
١٨ – هندسة الجرارات (×)

١٩ – أشغال المعادن (×)

٢٠ – اللحام بالغاز حـ٣ (×)

٢١ – صناعة النسيج (×)





(–) نفد وسيعاد طبعه

(+) طبعة ثانية

(×) تحت الطبع ويصدر تباعا .

مطابع الأهرام التجارية